

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
**«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**

*Приоритетный национальный проект «Образование»*

Уральский энергетический институт (УралЭНИИ)

**Энерго- и ресурсосбережение.  
Энергообеспечение.  
Нетрадиционные и возобновляемые  
источники энергии**

**Сборник материалов Всероссийской студенческой  
олимпиады, научно-практической конференции  
с международным участием и выставки работ  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
17 - 20 декабря 2013 г.**

*Под общей редакцией  
профессора, д-ра экон. наук Н.И. Данилова*

Екатеринбург  
2013

**Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии:** Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 17-20 декабря 2013 г. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 446 с.

В сборник включены материалы и тезисы докладов, представленные на Всероссийской студенческой олимпиаде, научно-практической конференции и выставке. Тезисы докладов отражают широкий диапазон научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых вузов, предприятий и организаций России, стран СНГ и дальнего зарубежья по проблемам энергосбережения, энергообеспечения, повышения эффективности использования энергетических ресурсов и создания нетрадиционных, возобновляемых источников энергии.

***Организационный комитет:***

Князев С.Т. (председатель оргкомитета)  
Кружаев В.В. (сопредседатель оргкомитета)  
Балдин В.Ю. (ответственный секретарь)

Кортов С.В.  
Иваницкая Р.Л.  
Бродов Ю.М.  
Плотников П.Н.  
Кокин С.Е.  
Капустин Ф.Л.  
Жуков А.А.  
Моржерин Ю.Ю.  
Данилов Н.И.  
Паздерин А.В.  
Щеклеин С.Е.  
Дубинин А.М.  
Тупоногов В.Г.  
Белоусова О.А.  
Гольцев В.А.  
Микула В.А.  
Селезнева И.С.  
Толстова Ю.И.  
Немихин Ю.Е.  
Семенов Г.А.  
Корелин А.В.  
Малыгин В.Ю.  
Шнырев М.Е.

Козлов В.В.  
Авраменко Е.С.  
Алехин В.Н.  
Коняев А.Ю.  
Котов О.М.  
Шимов В.В.  
Безматерных М.А.  
Богатова Т.Ф.  
Мунц В.А.  
Черных И.В.  
Белоусов В.С.  
Рыжков А.Ф.  
Ярошенко Ю.Г.  
Велькин В.И.  
Лихтенштейн В.И.  
Попов А.И.  
Силин В.Е.  
Герасимова Е.С.  
Раков О.А.  
Худякова Г.И.  
Барашев А.Р.  
Краснова А.В.  
Май С.А.

**Участникам, организаторам и гостям  
Всероссийской студенческой олимпиады,  
научно-практической конференции и  
выставки работ студентов, аспирантов и  
молодых ученых «Энерго- и  
ресурсосбережение. Энергообеспечение.  
Нетрадиционные и возобновляемые  
источники энергии»!**

*Уважаемые участники, организаторы и гости  
Всероссийской студенческой олимпиады, выставки  
и научно-практической конференции!*

Энергообеспеченность страны – важнейший элемент государственной стратегии развития. Энергоэффективность и энергосбережение занимают приоритетные позиции во внутренней и внешней политике всех без исключения государств мирового сообщества.

Рациональное использование энергетических ресурсов является одним из наиболее важных вопросов для экономики нашей страны. Президент Российской Федерации не раз отмечал, что энергосбережение превращается в один из основных трендов всемирной экономики. Работу по энерго- и ресурсосбережению Президент назвал «ключевым направлением для модернизации экономики и социальной сферы страны».

Четыре года назад вступил в действие Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...». Принятый закон, действующая в стране Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года направлены на реализацию активно проводимой государством политики сбережения и рационального использования энергетических ресурсов.

Успешная реализация этой политики возможна только при активном участии молодых специалистов, выпускников вузов, способных с полным пониманием квалифицированно реализовывать конкретные мероприятия в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Поэтому сегодня отечественной экономике крайне необходим приток молодых высококвалифицированных специалистов и ученых со сформированной идеологией энергосбережения.

Губернатор и Правительство Свердловской области неоднократно указывали на необходимость подготовки молодых специалистов инженерных профессий, способных создавать новые и оптимизировать действующие

процессы производства, передачи и потребления энергии, посвятить свою научную деятельность поиску новых источников энергии и способам эффективного их использования.

В Свердловской области все большее внимание уделяется вопросам стимулирования студентов, аспирантов и молодых ученых к творческой деятельности, в том числе участию в энерго- и ресурсосберегающих исследованиях и проектах, проводятся профессиональные конкурсы. Особенно отмечу в этой связи результаты работы кафедры «Энергосбережение» и Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Института энергосбережения, которые успешно осуществляют научно-методическую и образовательную деятельность по повышению энергетической эффективности экономики и подготовке кадров в Свердловской области.

Творчество молодежи активно поддерживается региональными органами государственной власти и бизнеса. Разработки молодых ученых и специалистов регулярно демонстрируются на выставках, конференциях и форумах. На ставших традиционными международных выставках «ИННОПРОМ», энергетическом форуме «Энерго-ПромЭкспо» ежегодно презентуются экспозиции энергоэффективной техники и технологий, где особое место занимают проекты и материалы, разработанные при участии молодежи.

Важно и впредь вовлекать молодых ученых и специалистов в систему информационного обмена, обобщать представленные результаты в области энерго- и ресурсосбережения, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также привлекать молодежь к научно-практическому творчеству. Считаю, что мероприятия Всероссийской студенческой олимпиады, конференции и выставки зарекомендовали себя как эффективная коммуникационная площадка для этих целей.

**Желаю всем участникам Всероссийской студенческой олимпиады, конференции и выставки плодотворной творческой работы по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики, успешной практической реализации творческих идей, успехов в освоении новых знаний и заслуженных побед!**

Министр энергетики и  
жилищно-  
коммунального  
хозяйства  
Свердловской области



Н.Б. Смирнов



# **СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ: ОПЫТ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА**

*Данилов Н.И., Балдин В.Ю., Россель Э.Э.  
УрФУ, v.u.baldin@urfu.ru*

В Уральском регионе разработана, выстроена и успешно работает в течение ряда лет система образования в области энергосбережения. Острая потребность в этом была выражена в указе Губернатора Свердловской области Э.Э. Росселя «О подготовке специалистов по энергосбережению для организаций Свердловской области», вышедшем в феврале 1999 года. В соответствии с этим в Уральском государственном техническом университете-УПИ (ныне – УрФУ) в 1999 году были созданы кафедра «Энергосбережение» и Региональный учебно-методический центр по подготовке и сертификации специалистов в области энергосбережения.

За это время разработаны программы учебных дисциплин и изданы учебно-методические пособия:

- для младших школьников и дошкольников – «Энергосбережение для начинающих»,
- для учащихся общеобразовательных школ, гимназий, лицеев, училищ и техникумов – «Введение в энергосбережение», «Использование ресурсов и энергии»,
- для студентов технических, архитектурно-строительных и профессионально-педагогических вузов – «Основы энергосбережения», «Энергоаудит и энергосбережение», «Малая энергетика», «Энергосберегающие технологии», «Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения», «Информационные технологии и системы управления в ресурсосбережении» и др.,
- для обучения и повышения квалификации специалистов предприятий и организаций различного профиля – разноуровневые программы комплексной предсертификационной подготовки и формирования знаний, умений и навыков в сфере энергосбережения, повышения энергетической эффективности и проведения энергетических обследований.

В настоящее время на кафедре «Энергосбережение» ежегодно слушают лекции и изучают вопросы энергосбережения, повышения энергоэффективности на практических занятиях свыше 2000 студентов. За эти годы прошли обучение более 20000 студентов старших курсов десяти институтов (факультетов) и ряда территориальных филиалов УрФУ, и этот перечень постоянно расширяется.

Доклад по данной теме был сделан на Международном симпозиуме EURO-ECO 2013, организованном Европейским научным обществом 28.11-29.11.2013 в г. Ганновере, Германия [1].

В преподавании названных дисциплин используется проблемно-тематический принцип: лекции студентам и слушателям курсов повышения квалификации читают профессора, доценты, высококвалифицированные специалисты региона, профессионально занимающиеся вопросами ресурсо- и

энергосбережения. Это способствует формированию у студентов и слушателей высокого уровня заинтересованности и мотивации в изучении и освоении основ теоретической и практической деятельности в данной области, позволяет им получить самую актуальную и достоверную информацию.

Сотрудниками кафедры подготовлен и выпущен значительный объем учебно-методической и научно-технической литературы по проблемам энергосбережения и повышения эффективности использования энергии. Потребность в такой литературе полностью не удовлетворена, но все же формируется учебно-методическая система, включающая в себя разные уровни и виды знания, методы обучения: от дошкольного и бытового до профессионального и научного, от популярных до энциклопедических пособий, от классических бумажных до электронных интерактивных учебников, мультимедийных учебно-методических комплексов.

Кафедрой за 2000-2013 гг. подготовлено и издано более 120 учебно-методических и справочных пособий, в том числе: 45 учебных пособий, 25 учебно-методических разработок, более 50 справочных изданий, монографий, энциклопедий (Приложение). В 2008 г. совместно с ГБУ Свердловской области «Институт энергосбережения» издан учебник «Основы энергосбережения» объемом более 38 печ. листов, тиражом свыше 3000 экз. Это первый в стране учебник такого объема и полноты охвата тем. Интерес к этому изданию проявляют представители многих организаций области, а также регионов России. Так, в 2009-2011 гг. при поддержке КЭС-Холдинга, МРСК Урала и Свердловской энергогазовой компании учебник «Основы энергосбережения» был издан для работников этих организаций общим тиражом более 3000 экз. В 2012 г. вышел электронный вариант учебника совместно с ИПК ТЭК Минэнерго России, который используется в системе повышения квалификации работников топливно-энергетического комплекса страны.

По результатам НИР за этот период кафедрой опубликовано свыше 1200 научных работ. Защищены две докторские и две кандидатские диссертации. Работы кафедры нашли широкое использование при подготовке документов по энергосбережению и повышению энергетической эффективности Правительства Свердловской области, а также законодательных актов Российской Федерации, рекомендаций Международной финансовой корпорации *IFC* (2010 г.) [2] и докладов ООН (2009-2010 гг.) [3].

В системе подготовки и сертификации специалистов в течение четырнадцати лет работы обучено и сертифицировано более 6000 работников бюджетной сферы, промышленных предприятий, сельского хозяйства, строительного комплекса, жилищно-коммунального хозяйства, силовых ведомств, муниципальных служащих.

Новым перспективным направлением образовательной деятельности кафедры стала организация и проведение в 2007-2010 гг. подготовки специалистов для управленческих округов области в рамках государственного заказа «Образовательные услуги по повышению квалификации государственных гражданских служащих Свердловской области и муниципальных служащих в Свердловской области по вопросам энергосбережения» с использованием ме-

тогда проведения видеоконференции. Лекционные занятия для этой категории работников проводились в специализированном помещении-студии Управления методической работы в здании правительства Свердловской области. Демонстрационный видеоряд транслировался в центры управленческих округов области, удаленных на десятки и сотни километров от Екатеринбурга, где находились слушатели, имеющие возможность непосредственного интерактивного общения с преподавателями во время занятий.

Такой метод обучения с одной стороны, требует тщательной разносторонней подготовки и высокой квалификации преподавателей и будет совершенствоваться, а, с другой стороны, при этом открываются широкие возможности охвата обучением гораздо больших и удаленных аудиторий слушателей, учитывая возможности уже освоенных технологий и быстро развивающихся коммуникационных ресурсов в нашей области.

Подготовка специалистов ведется в объеме не менее 80 учебных часов. Разработаны и уже апробированы на практике учебные программы для специалистов-энергетиков бюджетной сферы и жилищно-коммунального хозяйства; для промышленных предприятий различных отраслей: металлургической, химической, машиностроительной, горнодобывающей с учетом специфики отраслевых технологий.

По результатам этих занятий для заинтересованных пользователей подготовлен и выпущен электронный учебник «Организация работ по энергосбережению в муниципальных образованиях Свердловской области», размещенный на официальном Интернет-сайте правительства Свердловской области [4].

Следует также отметить уникальный многолетний опыт организации и проведения Всероссийских студенческих олимпиад по дисциплинам «Энерго- и ресурсосбережение», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», научно-практических конференций, выставок научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». В этих молодежных мероприятиях, организуемых УрФУ, с 2001 г. приняли участие свыше 3500 человек из нескольких десятков вузов России. Издано 13 сборников студенческих и аспирантских работ в этой сфере. Настоящий сборник является четырнадцатым в этом списке.

На кафедре отработаны научно-методические подходы к формированию топливно-энергетического баланса региона, заложены основные принципы энергетического анализа хозяйственной деятельности, отработаны методические рекомендации по разработке региональных программ энергосбережения. За последние годы активизировалась работа с участием специалистов из Великобритании, Германии, Франции, Нидерландов по широкому кругу проблем, связанных с энергоэффективным развитием стран, регионов, муниципальных образований.

С 2012 г. кафедра принимает участие в реализации Президентской программы повышения квалификации инженерных кадров, запланированной на 2012-2014 гг., победив в конкурсе, проводимом Министерством образования и науки РФ, по программе «Энергосбережение, повышение энергетической эф-

фективности и ресурсосбережение в промышленности». В ноябре-декабре 2012 г. по этой программе прошли обучение 40 специалистов промышленных предприятий и специализированных организаций Уральского федерального округа. В 2013 г. обучено 50 специалистов ряда предприятий и организаций Свердловской и Челябинской областей. В 2014 г. планируется продолжать эту работу.

В 2012 г. начата подготовка магистров совместно с кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» по программе «Энергетические установки, электростанции и комплексы на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии» с углубленным изучением вопросов энергосбережения и повышения энергетической эффективности. С учетом данного опыта впервые в России разработан образовательный стандарт УрФУ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в промышленности и бюджетной сфере», утвержденный Ученым советом в декабре 2012 г., который является основой для разработки и реализации основных образовательных программ подготовки высококвалифицированных кадров со степенью магистра для различных сфер экономики России по данному направлению.

Таким образом, на территории Свердловской области и Уральского региона реализован и развивается комплексный подход по созданию и постоянному совершенствованию системы подготовки специалистов по энергосбережению. Эта работа находится в русле предпринимаемых в нашей стране и области усилий по снижению энергоемкости российской и региональной экономики, обеспечению рационального и экологически ответственного использования энергии и энергетических ресурсов в соответствии Федеральным законом от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» на пути создания современного энергоэффективного общества.

Положительный опыт реализации многокомпонентной системы образования в области энергосбережения показывает, что с учетом результатов данного направления работы удалось добиться снижения темпов роста энергопотребления региона при сохранении устойчивой динамики роста экономики.

#### *Библиографический список*

1. Danilov N.I., Baldin V.Ju., Rossel E.E. System der Schulung und Qualifizierung von Fachleuten für Energieeinsparung: Regionale Erfahrungen // Euro-Eco. Hannover 2013. Ökologische, Technologische und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung: Das Internationale Symposium (28-29 November 2013). Programm Abstracts. Hannover: Europäischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, 2013. S. 32-33.
2. Алгоритм формирования региональных программ энергосбережения / Консультативная программа IFC в Европе и Центральной Азии. Washington: IFC, 2010. 64 с.
3. Энергетика и устойчивое развитие. 2009: Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации. Программы развития ООН (ПРООН) / Под общ. ред. С.Н. Бобылева. Дизайн-проект «Самолет», 2010. 180 с.
4. Данилов Н.И., Балдин В.Ю., Бегалов В.А., Велькин В.И., Проскуряков В.С., Щелоков Я.М. Организация работ по энергосбережению в муниципальных образованиях Свердловской области [Электронный ресурс] URL: <http://www.midural.ru/midural-new/training/textbook/>

**ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ  
ОЛИМПИАДЫ (2 И 3 ЭТАПЫ) «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»,  
«НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ  
ЭНЕРГИИ», НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И ВЫСТАВКИ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА МОЛОДЕЖИ  
«ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ.  
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ  
ЭНЕРГИИ» 2012-2013 ГОДА**

*Балдин В.Ю., Селезнева И.С.  
УрФУ, v.u.baldin@urfu.ru*

С 2001 г., вот уже в течение 13 лет, кафедрами УралЭНИН УрФУ («Энергосбережение», зав. кафедрой – проф., д-р экон. наук Н.И. Данилов, ученый секретарь, доц. В.Ю. Балдин, «Промышленная теплоэнергетика», зав. кафедрой – проф., д-р техн. наук В.А.Мунц, «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», зав. кафедрой – проф., д-р техн. наук С.Е. Щеклеин, «Теоретическая теплотехника», зав. кафедрой – проф., д-р техн. наук В.С. Белоусов) реализуется уникальный опыт организации и проведения трех взаимодополняющих учебно-научных мероприятий:

– *Всероссийской студенческой олимпиады «Энерго- и ресурсосбережение», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»* для студентов и магистрантов направлений подготовки 140100 Теплоэнергетика (Теплоэнергетика и теплотехника) и 140200 (140400) Электроэнергетика (Электроэнергетика и электротехника);

– *Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* по трем направлениям: «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности. Энергообеспечение», «Ресурсосбережение и повышение экологической эффективности», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Малая энергетика» с изданием сборника материалов;

– *Всероссийской выставки научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»* совместно с компанией «СоюзПромЭкспо» в рамках ежегодного Форума «Энерго-ПромЭкспо».

За эти годы в этих молодежных мероприятиях приняли участие свыше 3500 человек из нескольких десятков вузов России, стран СНГ и дальнего зарубежья. Данное направление работы соответствует *приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники, а также перечню критических технологий Российской Федерации.*

В 2012-2013 учебном году Всероссийская студенческая олимпиада проводилась в декабре 2012 г. – 2-й (межрегиональный) этап, и в мае 2013 г. – 3-й всероссийский заключительный этап.

## Итоги 2-го этапа Всероссийской студенческой олимпиады

В декабре 2012 г. в олимпиаде приняли участие 24 студента из 5 вузов. Первое место по направлению 140100 «Теплоэнергетика (и теплотехника)» по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» заняла команда Ивановского государственного энергетического университета (специальность «Энергообеспечение предприятий») в составе:

|    |                           |
|----|---------------------------|
| 1. | Матасов Эдуард Дмитриевич |
| 2. | Алексеев Алексей Игоревич |
| 3. | Цветкова Марина Сергеевна |

Второе место также заняла команда Ивановского государственного энергетического университета (специальность «Промышленная теплоэнергетика») в составе:

|    |                           |
|----|---------------------------|
| 1. | Сальников Павел Сергеевич |
| 2. | Тихомиров Артем Сергеевич |
| 3. | Шакиров Руслан Равильевич |

Третье место заняла команда УралЭНИН УрФУ (специальность «Промышленная теплоэнергетика», команда 2) в составе:

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 1. | Вандышев Иван Алексеевич     |
| 2. | Речкунов Ярослав Анатольевич |
| 3. | Берсенева Елена Федоровна    |

Четвертое место было присуждено команде УралЭНИН УрФУ (специальность «Промышленная теплоэнергетика», команда 1) в составе:

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| 1. | Абдуллин Ринат Разифович      |
| 2. | Бармина Ольга Андреевна       |
| 3. | Белоусова Анастасия Андреевна |

Пятое место было присуждено команде УралЭНИН УрФУ (специальность «Энергообеспечение предприятий», команда 1) в составе:

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 1. | Лукоянов Иван Ильич        |
| 2. | Лебедев Михаил Сергеевич   |
| 3. | Шапочкин Сергей Викторович |

Шестое место было присуждено команде Вятского государственного университета (г. Киров) в составе:

|    |                                |
|----|--------------------------------|
| 1. | Горсткин Дмитрий Александрович |
| 2. | Чернышев Константин Эдуардович |
| 3. | Крупин Дмитрий Федорович       |

Седьмое место заняла команда Альметьевского государственного нефтяного института (АГНИ) в составе:

|    |                             |
|----|-----------------------------|
| 1. | Федотова Вероника Сергеевна |
| 2. | Колбин Максим Андреевич     |
| 3. | Дергачев Данила Андреевич   |

Восьмое место было присуждено команде Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ), впервые принимавшая участие в олимпиаде, в составе:

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 1. | Леготина Александра Игоревна |
| 2. | Салова Евгения Сергеевна     |
| 3. | Лукина Юлия Николаевна       |

В индивидуальном первенстве победителем 2-го этапа олимпиады по направлению 140100 «Теплоэнергетика (и теплотехника)» по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» был признан студент Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ), занявший 1 место:

Матасов Эдуард Дмитриевич.

Призерами олимпиады по этому направлению по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» стали студенты, занявшие:

2 место – Алексеев Алексей Игоревич (Ивановский государственный энергетический университет (ИГЭУ);

3 место – Абдуллин Ринат Разифович (Уральский федеральный университет, УралЭНИН)).

Победитель и призеры 2-го этапа Олимпиады были награждены грамотами Региональной энергетической комиссии Свердловской области.

Победитель и призеры 2-го этапа Олимпиады *рекомендованы для участия в 3-м всероссийском этапе.*

За 4 место был награжден Лукоянов Иван Ильич, студент УрФУ (УралЭНИН).

За 5 место – Сальников Павел Сергеевич, студент Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ).

За 6 место – Горсткин Дмитрий Александрович, студент Вятского государственного университета, г. Киров.

За 7 место – Вандышев Иван Александрович, студент УрФУ (УралЭНИН).

За 8 место – Тихомиров Артем Сергеевич, студент Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ).

За 9 место – Чернышев Константин Эдуардович, студент Вятского государственного университета, г. Киров.

За 10 место – Речкунов Ярослав Анатольевич, студент УрФУ (УралЭНИН).

Студенты, кроме дипломов оргкомитета, были награждены учебным пособием «Энергосбережение. Теория и практика. Том 1. Теоретические основы энергосбережения», выпущенным в декабре 2012 г. специально к этим мероприятиям, и которое вручали авторы, преподаватели кафедры «Энергосбережение» УралЭНИН УрФУ: Данилов Николай Игоревич и Щелоков Яков Митрофанович.

В олимпиаде по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (НиВИЭ) приняли участие 24 студента из 3 вузов.

В командном первенстве 2-го этапа олимпиады по направлению 140200 (140400) «Электроэнергетика (и электротехника)» по дисциплине «Нетрадици-

онные и возобновляемые источники энергии» решением жюри первое место было присуждено команде студентов 5-го курса УралЭНИН УрФУ в составе:

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| 1. | Зайков Иван Андреевич         |
| 2. | Гладилов Андрей Александрович |

Второе место заняла команда магистрантов 1-го года обучения УралЭНИН УрФУ в составе:

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 1. | Федотов Дмитрий Андреевич  |
| 2. | Лаврёшин Анатолий Павлович |

Третье место заняла команда магистрантов сетевого университета СНГ, реализующего совместную образовательную программу УрФУ и Таджикского технического университета имени академика М. Осими, в составе:

|    |                             |
|----|-----------------------------|
| 1. | Тоджиддин Убайдулло Юсуфи   |
| 2. | Розикзода Мадинаи Абдукахор |

Четвертое место было присуждено команде аспирантов Челябинского государственной агроинженерной академии, участвовавшей вне конкурса, в составе:

|    |                          |
|----|--------------------------|
| 1. | Чигак Алексей Сергеевич  |
| 2. | Доскенов Арсен Халитович |

В индивидуальном первенстве победителем 2-го этапа олимпиады по направлению 140200 (140400) «Электроэнергетика (и электротехника)» по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» был признан студент 5 курса УралЭНИН УрФУ, занявший 1 место:

Зайков Иван Андреевич,

и призерами, занявшими:

2 место – Гладилов Андрей Александрович – студент 5 курса УралЭНИН УрФУ,

3 место – Филипенко Анастасия Анатольевна – студентка 5 курса УралЭНИН УрФУ.

Победитель и призеры 2-го этапа Олимпиады награждены грамотами Региональной энергетической комиссии Свердловской области и призами – книгами. Победитель и призеры 2-го этапа Олимпиады *рекомендованы для участия в 3-м всероссийском этапе*. Последующие места были заняты студентами УралЭНИН УрФУ:

4 место – студент 5 курса УрФУ Завьялов Алексей Сергеевич.

5 место – студентка 5 курса УрФУ Адиятуллина Юлия Зинуровна.

6 место – магистрант УрФУ Федотов Дмитрий Андреевич.

7 место – студент 5 курса УрФУ Чугунов Андрей Дмитриевич.

8 место – студент 5 курса УрФУ Шеломенцев Иван Антонович.

9 место – студентка 5 курса УрФУ Тиссен Анастасия Александровна.

10 место – студентка 5 курса УрФУ Слабодчикова Евгения Андреевна.

Все участники олимпиады получили свидетельства участников и призы – книги.



## Итоги научно-практической конференции

Традиционно одновременно с олимпиадой проводится **Всероссийская научно-практическая конференция (НПК) студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» с международным участием.**

В УрФУ приехали более 30 представителей из 9 вузов России, в конференции также участвовали представители УГГУ, РГППУ, всего – от 11 вузов. На пленарном заседании и трех секциях конференции заслушано более 60 докладов. Всего в сборнике материалов олимпиады, выставки и конференции объемом 428 страниц опубликовано более 160 докладов.

Среди авторов докладов студенты, аспиранты и молодые ученые из 30 вузов, академических институтов и научно-производственных организаций, в том числе зарубежных – из Германии, Франции, Латвии и Таджикистана.

Грамотами и поощрительными дипломами отмечено 20 лучших докладов на пленарном заседании и секции «Энергосбережение», 14 докладов на секции «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Малая энергетика», 9 докладов на секции «Ресурсосбережение».

За лучшие доклады на секции «Энергосбережение» отмечены следующие участники:

| Поз. | Ф.И.О. докладчика   | Вуз  |
|------|---|--|
| 1.   | Бирюзова Елена Александровна                                | Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) |
| 2.   | Антонова Алена Александровна<br>Лязгин Андрей Александрович | Российский государственный профессионально-педагогический университет (РГППУ)        |
| 3.   | Лозингер Петр Владимирович                                  | Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)                                   |
| 4.   | Цветкова Марина Сергеевна                                   | Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина (ИГЭУ)       |
| 5.   | Пожиганов Андрей Николаевич                                 | Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)                              |
| 6.   | Папченков Анатолий Игоревич                                 | УрФУ (УралЭНИН)  |
| 7.   | Тихонов Александр Васильевич                                | Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова               |

|    |   |                 |
|----|---|-----------------|
| 8. | Михалап Мария Александровна<br>Комкова Марина Геннадьевна | УрФУ (СТИ)      |
| 9. | Горшков Егор Иванович                                     | УрФУ (УралЭНИН) |

Поощрительными дипломами за доклады на секции «Энергосбережение» были отмечены следующие участники:

|     |   |  |
|-----|---|--|
| 1.  | Яковлев Виктор Александрович                            | Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) |
| 2.  | Крупин Дмитрий Федорович                                | Вятский государственный университет, г. Киров  |
| 3.  | Лукина Юлия Николаевна                                  | Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) |
| 4.  | Салова Евгения Сергеевна                                | Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) |
| 5.  | Леготина Александра Игоревна                            | Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) |
| 6.  | Кузьмина Елена Владимировна<br>Самохин Петр Арсентьевич | Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)                                   |
| 7.  | Валиева Эльвира Ралифовна                               | Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (МГТУ)        |
| 8.  | Соколова Дарья Сергеевна                                | Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (МГТУ)        |
| 9.  | Аловадинова Хулкара Нуруллоевна                         | Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (МГТУ)        |
| 10. | Мухамадеева Лилия Тагировна                             | Альметьевский государственный нефтяной институт (АГНИ)                               |

За лучшие доклады на секции «Ресурсосбережение» отмечены:

| Поз. | Ф.И.О.  | Вуз                                      |
|------|---|--|
| 1.   | Антипов Алексей Сергеевич   | Уральский федеральный университет (ХТИ)  |
| 2.   | Ворошилова Ирина Геннадьевна  | Уральский федеральный университет (ИММт) |
| 3.   | Альбаева Индира Илдаровна,<br>Саетова Наиля Саетовна,<br>Ковязина Инна Сергеевна,<br>Лагунова Екатерина Юрьевна | Уральский федеральный университет (ИММт) |
| 4.   | Нестерак Юлия Владимировна  | Уральский федеральный университет (ИММт) |
| 5.   | Кочнева Анна Андреевна<br>Новосёлова Мария Сергеевна  | Уральский федеральный университет (ИММт) |
| 6.   | Киселева Ольга Сергеевна  | Уральский федеральный университет (СТИ)  |
| 7.   | Мухина Екатерина Андреевна<br>Кривова София Дмитриевна  | Уральский федеральный университет (ХТИ)  |
| 8.   | Сайдали Анастасия Александровна   | Уральский федеральный университет (ХТИ)  |

Поощрительным дипломом за доклад на секции «Ресурсосбережение» отмечена

|    |                                 |   |
|----|---------------------------------|---|
| 1. | Валенцева Татьяна Александровна | Уральский федеральный университет (СТИ) |
|----|---------------------------------|---|

За лучшие доклады на секции «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» отмечены:

| Поз. | Ф.И.О.                     | Вуз  |
|------|----------------------------|--|
| 1.   | Завьялов Алексей Сергеевич | Уральский федеральный университет (УралЭНИН)               |
| 2.   | Архипова Ирина Геннадьевна | Альметьевский государственный нефтяной институт            |
| 3.   | Чигак Алексей Сергеевич    | Челябинская государственная агроинженерная академия (ЧГАА) |
| 4.   | Батенков Дмитрий Игоревич  | Уральский федеральный университет (УралЭНИН)               |
| 5.   | Голубев Сергей Сергеевич   | Самарский государственный технический университет (СамГТУ) |

|     |                               |   |
|-----|-------------------------------|---|
| 6.  | Тоджиддин Убайдулои Юсуфи     | Сетевой университет СНГ,<br>Уральский федеральный<br>университет (УралЭНИН) |
| 7.  | Ткачев Василий Константинович | Самарский государственный тех-<br>нический университет (СамГТУ)             |
| 8.  | Трофимова Татьяна Викторовна  | Альметьевский государственный<br>нефтяной институт                          |
| 9.  | Розикзода Мадинаи Абдукахор   | Сетевой университет СНГ,<br>Уральский федеральный<br>университет (УралЭНИН) |
| 10. | Рахимова Наргис Мавлоновна    | Сетевой университет СНГ,<br>Уральский федеральный<br>университет (УралЭНИН) |
| 11. | Доскенов Арсен Халитович      | Челябинская государственная аг-<br>роинженерная академия (ЧГАА)             |
| 12. | Диденко Екатерина Сергеевна   | Альметьевский государственный<br>нефтяной институт                          |

Поощрительными дипломами за доклад на секции «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» отмечены следующие участники:

| Поз. | Ф.И.О.                    | Вуз  |
|------|---------------------------|--|
| 1.   | Головских Дарья Сергеевна | Уральский государственный<br>горный университет (УГГУ) |
| 2.   | Банникова Майя Николаевна | Уральский государственный<br>горный университет (УГГУ) |

Преподавателям и представителям вузов, сопровождавшим студентов, вручены благодарственные письма ректорам за предоставление возможности командам вузов принять участие во Всероссийской студенческой олимпиаде (2-й этап) по дисциплинам «Энерго- и ресурсосбережение» и «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», а также конференции «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

**Итоги выставки научно-технического творчества студентов,  
аспирантов и молодых ученых**

Всего в рамках Форума «Энерго-ПромЭкспо 2012» было представлено 36 экспонатов от УрФУ, а также 6 экспонатов от Ивановского энергетического университета, РГППУ, УГЛТА, Екатеринбургского энергетического техникума.

Медалями Всероссийского форума ЭнергоПромЭкспо-2012 награждены

| Поз. | Авторы работы  | Институт | Название работы   | Руководители                                      |
|------|--|----------|---|---|
| 1    | Желонкин Николай Владимирович, Мурманский Илья Борисович   | УралЭНИН | Разработка моделей энергоэффективных поверхностей теплообмена         | Рябчиков Александр Юрьевич, Бродов Юрий Миронович |
| 2    | Зайков Иван Андреевич  | УралЭНИН | Разработка бесплотинных микроГЭС проточного типа                      | Попов Александр Иванович                          |
| 3    | Хохлов Георгий Константинович  | ФТИ      | Комплекс работ по разработке светодиодных приборов                    | Хохлов Константин Олегович                        |
| 4    | Михалап Мария Александровна, Комкова Марина Геннадьевна  | СИ       | Комплекс работ по оптимизации теплозащиты зданий                      | Толстова Юлия Исааковна                           |
| 5    | Быкова Раиса Сергеевна, Галямова Лилия Анифоновна, Кулешова Анастасия Романовна, Лакс Кристина Александровна | ИММт     | Разработка комплекса теплозащитных материалов                         | Власова Светлана Геннадьевна                      |
| 6    | Ворошилова Ирина Геннадьевна, Нестерак Юлия Владимировна   | ИММт     | Разработка защитных энергоэффективных эмалевых покрытий трубопроводов | Лазуткина Ольга Рюриковна                         |

|   |   |          |   |  |
|---|---|----------|---|--|
| 7 | Коллектив кафедры «Энергосбережение» УрФУ | УралЭНИН | За подготовку и издание 12 сборников материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых | Зав. кафедрой Данилов Николай Игоревич, отв. исполнитель Балдин Виктор Юрьевич |
|---|---|----------|---|--|

Дипломами Всероссийского форума «ЭнергоПром-Экспо» 2012 награждены следующие студенты, аспиранты, молодые ученые и их руководители

| Поз. | Авторы работы                   | Институт                          | Название работы   | Руководители   |
|------|---------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| 1    | Абаимов Николай Анатольевич     | Уральский энергетический институт | Совершенствование способов применения угля в парогазовых установках | Рыжков Александр Филиппович, Микула Владимир Анатольевич |
| 2    | Адиятуллина Юлия Зигиуровна     | Уральский энергетический институт | Мобильные мини-микроГЭС   | Попов Александр Иванович                                 |
| 3    | Шеломенцев Иван Антонович       | Уральский энергетический институт | Лабораторная БГУ  | Щеклеин Сергей Евгеньевич, Арбузова Елена Валерьевна     |
| 4    | Завьялов Алексей Сергеевич      | Уральский энергетический институт | Программа для расчета оптимального кластера ВИЭ                     | Велькин Владимир Иванович                                |
| 5    | Филипенко Анастасия Анатольевна | Уральский энергетический институт | Применение солнечного коллектора для многоквартирного дома          | Велькин Владимир Иванович                                |
| 6    | Тиссен Анастасия Александровна  | Уральский энергетический институт | Солнечные коллекторы  | Попов Александр Иванович                                 |
| 7    | Гладилов Андрей Александрович   | Уральский энергетический институт | Электроснабжение станций катодной защиты магистральных газопроводов | Щеклеин Сергей Евгеньевич                                |

|    |  |   |   |  |
|----|--|---|---|--|
| 8  | Папченков Анатолий Игоревич                              | Уральский энергетический институт       | Устройство для измерения температуры жидкости (среды) при изменении ее теплогидравлических характеристик и агрегатного состояния в вертикальной трубе | Мунц Владимир Александрович  |
| 9  | Кузьмина Надежда Сергеевна, Кубиков Андрей Петрович      | Уральский энергетический институт       | Электродинамические сепараторы для обработки электронного лома  | Коняев Андрей Юрьевич, Коняев Иван Андреевич   |
| 10 | Гайфутдинов А.Р.   | Уральский энергетический институт       | Разработка вентильно-индукторных двигателей   | Денисенко Виктор Иванович, Пластун Анатолий Трофимович                                     |
| 11 | Малыгин И.В.   | Уральский энергетический институт       | Якорь электродвигателя с кольцевыми обмотками   | Пластун Анатолий Трофимович  |
| 12 | Полунин Федор Анатольевич                                | Уральский энергетический институт       | Разработка и исследование энергосберегающего частотно-регулируемого электропривода с емкостными накопителями энергии                                  | Плотников Юрий Валерьевич  |
| 13 | Трошина Мария Александровна, Кузьмина Анна Александровна | Строительный институт                   | Обзор Российского рынка приборов учета тепловой энергии   | Ширяева Нина Павловна, Маляр Елена Александровна   |
| 14 | Гесс И.А.  | Строительный институт                   | Комбинированные системы теплоснабжения с применением гелеоустановок   | Михайлишин Евгений Васильевич  |
| 15 | Воротников Константин Сергеевич                          | Строительный институт                   | Инновационное энергоэффективное устройство на основе вихревых труб  | Носков Александр Семенович   |
| 16 | Кузнецова Анна Андреевна, Ютик Александр Сергеевич       | Институт материаловедения и металлургии | Модифицированное вяжущее на основе портландцемента  | Герасимова Екатерина Сергеевна, Васильев Виктор Георгиевич, Владимирова Елена Владимировна |

|    |   |   |   |  |
|----|---|---|---|--|
| 17 | Булычева Светлана Николаевна  | Институт материаловедения и металлургии               | Лабораторный стенд «Промышленные датчики температуры»   | Гольцев Владимир Арисович                            |
| 18 | Гадельшин Вадим Маратович   | Физико-технический институт                           | Разработка термосифона рекуперативного теплообменника для утилизации тепловых вторичных энергоресурсов                              | Долгирев Юрий Евгеньевич, Гадельшин Марат Шавкатович |
| 19 | Медведев Алексей Владимирович   | РГППУ   | Учебно-лабораторный стенд для изучения принципов частотного регулирования приводов  |  |
| 20 | Камешков Дмитрий Андреевич  | УГЛТУ   | Инновации в переработке неликвидной листовой древесины  | Юрьев Юрий Леонидович                                |
| 21 | Ариничев Владислав Витальевич, Шакиров Владислав Юрьевич  | Екатеринбургский энергетический техникум              | Разработка учебно-лабораторных стендов  | Ананин Валентин Давыдович                            |
| 22 | ООО «КАРДЭЯ-УрФУ»   | Совместная работа                                     | Разработка оригинальных ветроэнергетических установок   |  |
| 23 | Горинов О.И., Колибаба О.Б., Горбунов В.А., Долинин Д.А., Самышина О.В., Семин Е.С., Габитов Р.Н. | Ивановский государственный энергетический университет | Способ и установка термического разложения твердых бытовых отходов  |  |
| 24 | Коллектив кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Строительного института УрФУ                  | УрФУ  | За комплекс учебно-методических разработок для подготовки и переподготовки специалистов по направлению «Энергосбережение в зданиях» | Зав. кафедрой, к.т.н., доц. Ширяева Нина Павловна    |

Свидетельствами участника Всероссийской выставки научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбере-



жение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» отмечены следующие студенты, аспиранты и молодые ученые

| Поз. | Авторы работы  | Институт                                | Руководители  |
|------|--|---|---|
| 1    | Худякова Галина Ивановна                                 | УралЭНИН                                | Рыжков Александр Филиппович   |
| 2    | Харитонов Игорь Владимирович                             | Физико-технический институт             | Хохлов Константин Олегович  |
| 3    | Фурманенко Дмитрий Евгеньевич                            | Строительный институт                   | Толстова Юлия Исааковна, Морозов Антон Юрьевич  |
| 4    | Лазуткин Андрей Валерьевич                               | Строительный институт                   | Носков Александр Семенович, Беляков Владимир Александрович                                  |
| 5    | Осипов Алексей Викторович                                | Строительный институт                   | Носков Александр Семенович, Беляков Владимир Александрович                                  |
| 6    | Кочнева Анна Андреевна                                   | Институт материаловедения и металлургии | Уфимцев Владислав Михайлович  |
| 7    | Новосёлова Мария Сергеевна                               | Институт материаловедения и металлургии | Уфимцев Владислав Михайлович  |
| 8    | Сысоев Владислав Сергеевич, Малькова Мария Геннадьевна   | Институт материаловедения и металлургии | Герасимова Екатерина Сергеевна, Васильев Виктор Георгиевич, Владимировна Елена Владимировна |
| 9    | Выволокина Елена Васильевна                              | Институт материаловедения и металлургии | Гольцев Владимир Арисович   |
| 10   | Девярых Евгений Андреевич, Берковская Дарья Владимировна | Институт материаловедения и металлургии | Лавров Владислав Васильевич   |
| 11   | Шимов Георгий Викторович                                 | Институт материаловедения и металлургии | Богатов Александр Александрович   |

## **Итоги заключительного (третьего) этапа Всероссийской студенческой олимпиады**

В соответствии с «Планом проведения заключительного (третьего) этапа Всероссийской студенческой олимпиады в 2013 году», утвержденным заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым 12 марта 2013 г., в УрФУ 14-16 мая 2013 г. проведен заключительный (третий) этап Всероссийской студенческой олимпиады по дисциплинам «Энерго- и ресурсосбережение» (ЭРС), направление «Теплоэнергетика, «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (НиВИЭ), направление «Электроэнергетика».

Этим планом в 2013 г. предусмотрено проведение 95 Всероссийских олимпиад, из них только две – в УрФУ по данным *энергетическим дисциплинам*.

В этом этапе олимпиады 14-16 мая 2013 г. участвовали представители 7 вузов России, занимающихся подготовкой специалистов, бакалавров и магистров по энергетическим направлениям:

1. Ивановский государственный энергетический университет, г. Иваново (6 студентов по ЭРС и руководитель делегации);
  2. Санкт-Петербургский политехнический университет, г. Санкт-Петербург (2 студента по НиВИЭ);
  3. Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск (3 студента по ЭРС и руководитель делегации);
  4. Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск (2 студента по НиВИЭ);
  5. Челябинская государственная агроинженерная академия, г. Челябинск (2 студента по НиВИЭ и руководитель делегации);
  6. Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск (3 студента по ЭРС и руководитель делегации);
  7. Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург (27 студентов по двум направлениям подготовки),
- а также представители 2 университетов стран СНГ (вне конкурса):

1. Костанайский государственный университет, г. Костанай (Казахстан, 2 магистранта по НиВИЭ, вне конкурса);
2. Сетевой университет СНГ, реализующий совместную образовательную программу УрФУ и Таджикского технического университета имени академика М. Осими, г. Душанбе (3 магистранта по НиВИЭ, вне конкурса); и один магистрант из Монголии, обучающийся по НиВИЭ, участвующий вне конкурса.

В заключительном (третьем) этапе Всероссийской студенческой олимпиады участвовало 48 студентов из 9 вузов.

### **Итоговые результаты (двух туров олимпиады)**

По дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» в командном первенстве решением жюри олимпиады первое место по направлению 140100 «Теплоэнергетика (и теплотехника)» по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» в неофициальном командном зачете присуждено команде УралЭНИН УрФУ (команда 1), набравшей суммарный балл 190,0 по итогам двух туров, в составе:

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| 1. | Абдуллин Ринат Разифович      |
| 2. | Лукоянов Иван Ильич           |
| 3. | Каграманов Юрий Александрович |

Второе место также было присуждено команде УралЭНИН УрФУ (команда 2), получившей суммарный балл 156,6, в составе:

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 1. | Вандышев Иван Алексеевич     |
| 2. | Берсенева Елена Федоровна    |
| 3. | Речкунов Ярослав Анатольевич |

Третье место заняла 1-я команда Ивановского государственного энергетического университета, получившая суммарный балл 148,0, в составе:

|    |                           |
|----|---------------------------|
| 1. | Алексеев Алексей Игоревич |
| 2. | Матасов Эдуард Дмитриевич |
| 3. | Цветкова Марина Сергеевна |

Четвертое место заняла 2-я команда Ивановского государственного энергетического университета, набравшая суммарный балл 141,2, в составе:

|    |                           |
|----|---------------------------|
| 1. | Тихомиров Артем Сергеевич |
| 2. | Сальников Павел Сергеевич |
| 3. | Шакиров Руслан Равильевич |

Пятое место было присуждено команде Ижевского государственного технического университета, получившей суммарный балл 115,6, в составе:

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 1. | Ларионов Дмитрий Сергеевич |
| 2. | Шолота Юрий Викторович     |
| 3. | Шутов Владимир Сергеевич   |

Шестое место было присуждено самой молодой команде Магнитогорского государственного технического университета, набравшей суммарный балл 37,6, в составе:

|    |                             |
|----|-----------------------------|
| 1. | Захаров Роман Владимирович  |
| 2. | Сергеев Павел Александрович |
| 3. | Гордеева Ирина Сергеевна    |

В индивидуальном первенстве победителем Всероссийской студенческой олимпиады 2013 года по направлению 140100 «Теплоэнергетика (и теплотехника)» по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» признан Алексеев Алексей Игоревич, студент Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ), занявший 1 место.

Призерами олимпиады по направлению 140100 «Теплоэнергетика (и теплотехника)» по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» признаны:

Абдуллин Ринат Разифович, занявший 2 место, студент Уральского федерального университета (УралЭНИН УрФУ).

Лукоянов Иван Ильич, занявший 3 место – студент Уральского федерального университета (УралЭНИН УрФУ).

Победитель и призеры награждены грамотами Всероссийской студенческой олимпиады и грамотами Администрации г. Екатеринбурга.

Победитель и призеры третьего этапа Олимпиады по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение» рекомендованы для награждения премиями Прави-

тельства Российской Федерации на основании Указа Президента Российской Федерации от 6 апреля 2006 года № 325 «О мерах государственной поддержки талантливой молодежи».

По дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» в неофициальном командном первенстве олимпиады по направлению 140200 (140400) «Электроэнергетика (и электротехника)» по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» решением жюри первое место присуждено команде студентов Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), получившей суммарный балл 181,9, в составе:

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 1. | Лешко Владимир Анатольевич |
| 2. | Сахаров Иван Алексеевич    |

Второе место заняла 1-я команда студентов УрФУ, получившая суммарный балл 181,0, в составе:

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| 1. | Зайков Иван Андреевич         |
| 2. | Гладиков Андрей Александрович |

Третье место заняла команда Санкт-Петербургского политехнического университета, получившая суммарный балл 163,1, в составе:

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| 1. | Сливканич Маргарита Андреевна |
| 2. | Ларина Ольга Николаевна       |

Четвертое место присуждено 2-й команде студентов УрФУ, получившей суммарный балл 155,5, в составе:

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 1. | Завьялов Алексей Сергеевич |
| 2. | Чугунов Андрей Дмитриевич  |

Пятое место присуждено команде студентов Челябинского государственной агроинженерной академии, получившей суммарный балл 100,2, в составе:

|    |                                  |
|----|----------------------------------|
| 1. | Лагацкий Владимир Владимирович   |
| 2. | Зайнагабдинова Залина Рамильевна |

Жюри также отметило команду магистрантов Костанайского государственного университета, г. Костанай (Казахстан), участвовавшую вне конкурса, в составе:

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 1. | Сахно Юлия Николаевна        |
| 2. | Орымбаева Ферюза Алимжановна |

и магистрантов сетевого университета СНГ, реализующего совместную образовательную программу УрФУ и Таджикского технического университета имени академика М. Осими (г. Душанбе), также участвовавших вне конкурса:

|    |                             |
|----|-----------------------------|
| 1. | Рахимова Наргис Мавлоновна  |
| 2. | Розикзода Мадинаи Абдукахор |
| 3. | Тоджиддин Убайдулои Юсуфи   |

В индивидуальном первенстве победителем олимпиады (третий этап) по направлению 140200 (140400) «Электроэнергетика (и электротехника)» по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» признан студент Новосибирского государственного технического университета

Лешко Владимир Анатольевич, занявший 1 место, и призерами стали, занявшие:

2 место – Зайков Иван Андреевич, студент УрФУ,

3 место – Сливканич Маргарита Андреевна, студентка Санкт-Петербургского политехнического университета.

Победитель и призеры также награждены грамотами Всероссийской студенческой олимпиады и грамотами Администрации г. Екатеринбурга.

Победитель и призеры третьего этапа Олимпиады по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» также *рекомендованы* для награждения премиями Правительства Российской Федерации на основании Указа Президента Российской Федерации от 6 апреля 2006 года № 325 «О мерах государственной поддержки талантливой молодежи».

Все участники олимпиады получили свидетельства участников Всероссийской студенческой олимпиады, а также призы – книги:

– учебное пособие: Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение. Теория и практика. Том 1. Теоретические основы энергосбережения. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 296 с., которое вручал автор, заведующий кафедрой «Энергосбережение», профессор Данилов Николай Игоревич;

– Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 18-21 декабря 2012 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 428 с.

Представителям вузов вручены благодарственные письма ректорам за предоставление возможности командам вузов принять участие во Всероссийской студенческой олимпиаде «Энерго- и ресурсосбережение» (третий этап).

Участники отметили хорошую и разностороннюю подготовку и организацию проведения заключительного этапа ВСО, несмотря на жесткий цейтнот, вызванный принятием руководящих документов по проведению данного этапа только в марте 2013 г.

По мнению членов жюри, в том числе представителей других вузов-участников, студенты показали высокий уровень теоретической и практической подготовки. Общий уровень ответов оказался заметно выше, чем на региональном этапе, при этом средний уровень подготовки по теоретической части продемонстрирован существенно выше, чем по практической.

Круг участников заключительного этапа ВСО мог быть шире при условии целевого финансирования затрат на поездку студентов и руководителей делегаций для участия в олимпиаде. Предлагается сделать подобное мероприятие международным, на уровне стран СНГ и ШОС, потенциальные участники из этих стран имеются.

Проведение Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием, выставки и межрегионального этапа олимпиады традиционно планируется на декабрь 2013 года накануне Дня энергетика.

Третий заключительный этап ВСО намечен на май 2014 г. в случае положительного результата рассмотрения министерством образования и науки РФ заявок УрФУ на проведение данного этапа олимпиады.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОННЫХ ГАЗИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Абаимов Н.А., Рыжков А.Ф.

УрФУ, [tes.urfu@mail.ru](mailto:tes.urfu@mail.ru)

В процессе развития энергетических технологий появилось несколько принципиально разных способов сжигания топлива, основанных на организации горения топлива в слое, в факеле и в циклонной камере. Циклонные топки, благодаря особенностям вихревой аэродинамики, позволяют достигать наибольших теплонапряжений, в факельных топках вихревой эффект носит лишь вспомогательный характер. Данное достоинство циклонных установок позволяет создавать агрегаты небольших размеров необходимой мощности, что делает их весьма перспективными для малой и средней энергетики.

В качестве исходной установки использовалась конструкция, разработанная в УрФУ (рис. 1, а) для термоподготовки топлива [1]. Для исследования работы установки была создана трёхмерная модель рассчитываемого реактора в CFD-пакете ANSYS CFX (рис. 1, б). На основании данных, полученных в результате моделирования и учитывая конструктивные особенности исходной установки, была разработана и также смоделирована изменённая конструкция реактора для частичной газификации топлива (рис. 1, в). Верификация аэродинамической модели проводилась по данным [2].

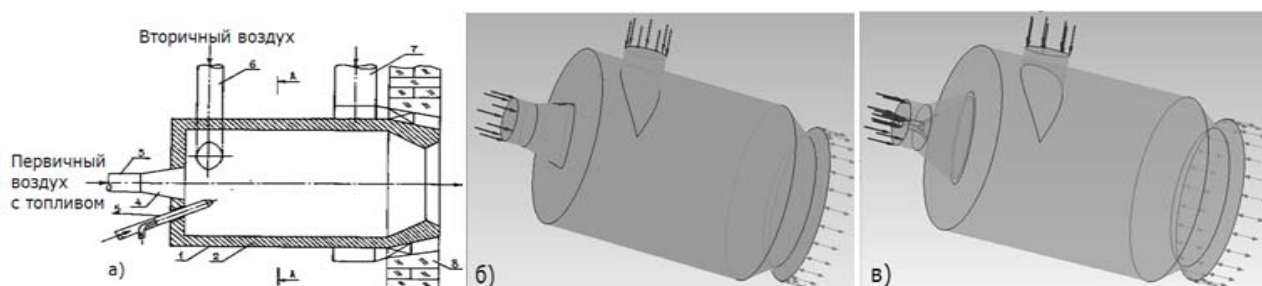


Рис. 1. Циклонный реактор:

- а) конструкция реактора по патенту [1]; б) трёхмерная модель исходной конструкции;  
в) трёхмерная модель модернизированной конструкции

В исходной установке поток первичного воздуха не имеет на своём пути никаких конструктивных элементов, препятствующих его прямолинейному движению на выход из камеры. Вследствие этого большая часть частиц твёрдого топлива так и не уносится вторичным воздухом к периферии реактора, существенно сокращая общее время пребывания топлива в установке (рис. 2, а). Включение в исходную конструкцию реактора грибка-рассекателя имела целью изменение траектории движения первичного потока воздуха и аэродинамики циклонной камеры в целом. В частности, рассекатель разрушает аксиальный поток первичного воздуха и перенаправляет его к периферии камеры, тем самым удлиняет траекторию движения частиц твёрдого топлива и увеличивает их время пребывания в активной зоне реактора (рис. 2, б).

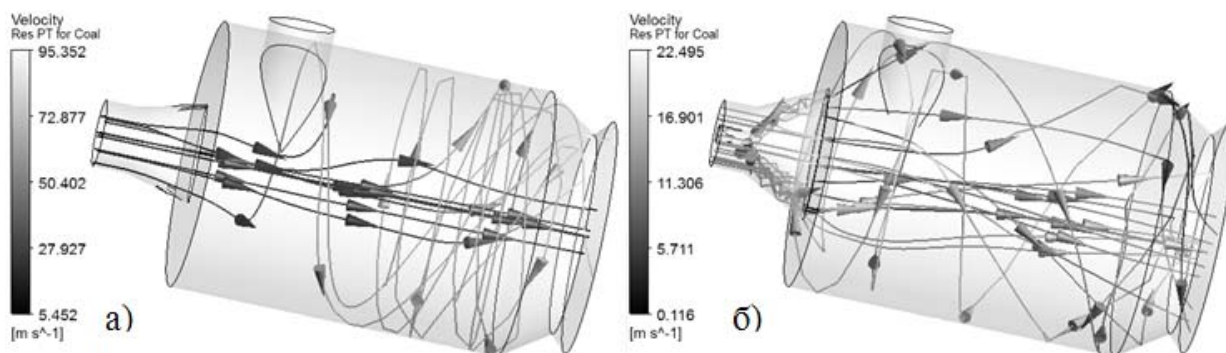


Рис. 2. Траектория и скорости движения частиц твёрдого топлива:  
а) исходная конструкция реактора; б) модернизированная конструкция

Температура является одной из важнейших характеристик теплоэнергетических установок, определяя режим их работы (рис. 3). Распределение средних температур по длине реактора исходной конструкции демонстрирует умеренный рост температур от начала камеры (безразмерная координата  $x=0,2$ ) до начала сужения ( $x=0,8$ ). В области пережима ( $x=0,8-1$ ) наблюдается резкий скачок температур, обусловленный скоплением частиц топлива около сужения, где они интенсивно горят. Средние температуры газов модернизированной конструкции лежат в низкотемпературном диапазоне (от  $900^{\circ}\text{C}$  до  $1300^{\circ}\text{C}$ ), что удовлетворяет условиям твёрдого шлакоудаления. Область подвода вторичного воздуха ( $x=0,3-0,4$ ) имеет характерное снижение температур. Частицы топлива, попадающие в периферийную область камеры до этого падения температур ( $x = 0,2-0,3$ ), образуют зажигательный пояс со средними температурами от  $1000^{\circ}\text{C}$  до  $1100^{\circ}\text{C}$ .

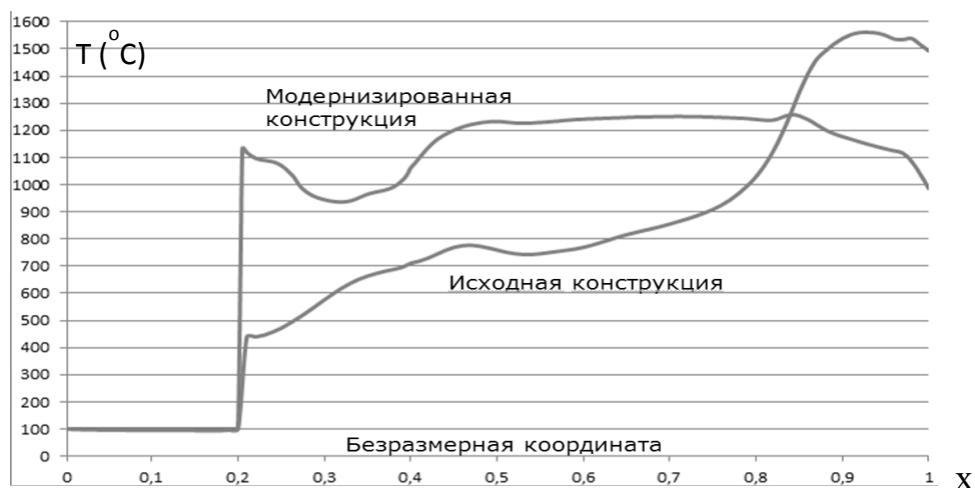


Рис. 3. Средняя температура по длине реактора

Графики распределения средних концентраций компонентов по длине реактора и состав получаемого газа изображены на рис. 4. В исходной конструкции кислородная зона распространяется на всю длину установки. В модернизированной конструкции она заканчивается на  $0,7-0,8$  длины реактора, благодаря чему на последней четверти камеры протекают восстановительные процессы.

Газ, генерируемый в изменённой конструкции, содержит в два раза больше водорода, в два с половиной раза СО и на две трети больше метана, чем газ исходной конструкции. Это повышает теплоту сгорания газа более чем в 2,5 раза: с 2 МДж/кг до 5,1 МДж/кг. Соотношение тепла в газе к теплу в коксе меняется с 1:4 до 1:2 соответственно. Данный параметр особенно важен при использовании реактора в схемах двутопливных (генераторный газ и кокс) парогазовых установок.

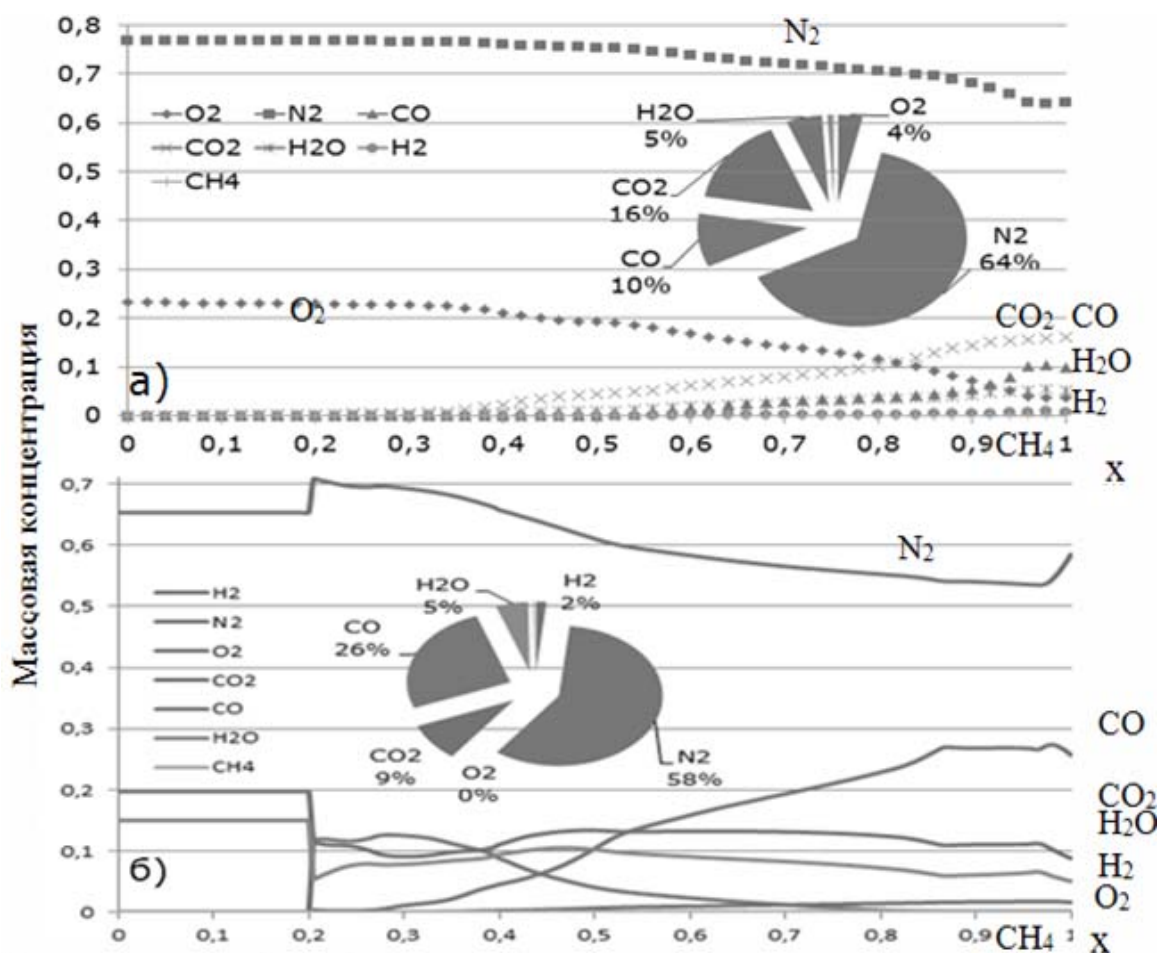


Рис. 4. Концентрации (масс.) газов по длине реактора и на выходе из него:  
а) исходная конструкция; б) модернизированная конструкция

Направления дальнейших исследований: поиск оптимального количества моделируемых частиц топлива; рассмотрение реакций, наиболее полно описывающих газификацию; оптимизация конструкции реактора.

#### Библиографический список

1. Берг Б.В. Разработка растопочной пылеугольной горелки / Б.В. Берг, А. Батхишиг, Н.В. Вальцев и др. // Электрические станции. 2012. № 10. С. 22-27.
2. Пицуха Е.А. Исследование структуры закрученных течений в циклонной камере при различных условиях ввода и вывода газа / Е.А. Пицуха, Ю.С. Теплицкий, В.А. Бородуля [и др.] // ИФЖ. 2012. Т. 85. № 2. С. 305–317.



# **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖИГАНИЯ БЕДНЫХ ГАЗОВ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ПОТОКЕ ОКИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ ТВЕРДОТОПЛИВНОЙ ПГУ МОЩНОСТЬЮ 340 МВт**

*Абатурова О.С., Абаимов Н.А., Горшков Е.И., Левин Е.И., Рыжков А.Ф.  
УрФУ, tes.urfu@mail.ru*

В настоящее время ведущие мировые компании (Siemens, Ansaldo, GE, МНП) интенсивно занимаются разработкой технологий сжигания в газотурбинных установках искусственных газов с теплотой сгорания менее 5 МДж/кг. К настоящему времени освоены такие технологии для газов паровоздушной газификации с теплотой сгорания до 4,8 МДж/кг, доменного газа с теплотой сгорания до 4,6 МДж/кг. А поскольку сжигание производится по классической схеме – в потоке воздуха с температурой 400 °С, то для стабилизации горения применяются кинетические схемы. При этом возникают проблемы «бедного» срыва пламени и трудности организации равномерной раздачи и перемешивания синтез-газа.

Преимущество технологии сжигания синтез-газа в высоконагретом воздухе состоит в том, что за счет внесения в камеру сгорания дополнительной теплоты с воздухом уменьшается расход газа и это позволяет получить дополнительный воздух на охлаждение и повысить маневренность установки.

Новизна предложенного решения заключается в использовании в качестве топлива низкокалорийных газов с  $Q_i^d = 1,5\text{--}5$  МДж/кг при сохранении остальных параметров ( $\text{CH}_4 < 1\%$  и  $\text{NH}_3 < 1000$  млн<sup>-1</sup>), но без использования форкамеры и с максимальной температурой газов перед турбиной  $t_t$  до 1700 °С.

Технологические основы сжигания синтез-газа разработаны с применением метода математического моделирования в программном пакете ANSYS, на примере камер сгорания ПГУ с ВЦГ для двух проектных топливах.

Для универсальной ПГУ с горячей сухой газоочисткой, при которой с топливом в камеру сгорания поступает аммиак, для подавления образования топливных оксидов азота необходимо применение двухступенчатой схемы сжигания.

По данным специалистов МЭИ [1], при повышении температуры циклового воздуха, подводимого к камере сгорания, уровень эмиссии  $\text{NO}_x$  в камерах сгорания диффузионного типа резко возрастает (примерно вдвое на каждые 100 °С). Результаты моделирования двухступенчатой схемы показали, что даже без применения специальных технических решений при увеличении температуры циклового воздуха на 600 °С можно получить выбросы  $\text{NO}_x$  на уровне менее 50 млн<sup>-1</sup>. Учитывая высокую тепловую эффективность рассматриваемой перспективной схемы ПГУ, представляется целесообразным дополнять процесс известными техническими решениями по снижению  $\text{NO}_x$ .

В случае применения не используемых ранее в ПГУ–ВЦГ более бедных газов с низкой теоретической температурой горения, применение высоконагретого воздуха упростит технологию экологичного сжигания, поддерживая одновременно высокую устойчивость диффузионного факела. В результате происходит значительное расширение топливной базы перспективной ГТУ за счёт

возможности эффективной работы на не применяемых для этой цели ранее дешёвых бедных искусственных газах с  $Q_i^d \approx 1.5 \div 5 \text{ МДж/м}^3$ , создающих конкуренцию стандартным газам парокислородной и паровоздушной газификации.

*Библиографический список*

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Земцов А.С., Осыка А.С. Газотурбинные энергетические установки: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Теплоэнергетика» / под ред. С.В. Цанева. М.: МЭИ, 2011. 426 с.

## **ВНЕДРЕНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ**

*Аксенов Н.А., Ковалев А.А.*

*Уральский государственный университет путей сообщения  
saprks@mail.ru, kovalev@k66.ru*

Энергосбережение является одной из самых серьезных задач XXI века. От результатов ее решения зависит место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран, конкурентоспособность бизнеса и уровень жизни граждан.

В последнее время в России, да и во всем мире берут курс на развитие инноваций в сфере энергосбережения, поскольку рост потребления энергии обгоняет ввод новых мощностей в электроэнергетике. Проблема энергоэффективности освещения является насущной и актуальной. Разрабатываются регламентирующие документы и законы, регулирующие требования энергоэффективности.

Одним из путей увеличения энергоэффективности является использование экономных систем освещения. Безусловно, этой теме уделяется очень пристальное внимание. Но широкое внедрение инновационных энергосберегающих систем освещения тормозится по ряду причин – как технико-экономических, связанных с высокой стоимостью светодиодных осветительных приборов, так и отставанием нормативной базы, подкрепляющей и узаконивающей применение таких систем.

Тем не менее, на сегодняшний момент энергоэффективными и инновационными по праву являются системы освещения на основе светодиодов. ОАО «Российские железные дороги» по праву считается компанией-инноватором по внедрению таких систем. Поэтому неудивительно, что в нашей стране наиболее качественные энергоэффективные проекты созданы именно на объектах железных дорог при активном участии и содействии всех причастных служб. Современные светодиодные светильники обеспечивают экономию электроэнергии в 2–3 раза. Это позволяет сокращать затраты на производство новых генерирующих подстанций. Светодиодные источники характеризуются высокой надежностью и большим сроком службы, поэтому отпадает необходимость в их частой замене, что является значимым фактором, влияющим на снижение эксплуатационных затрат. Особенно это важно для железной дороги, протяженность которой колоссальна, а обслуживание осветительных установок, удаленных от крупных центров, затруднительно или сами осветительные установки располо-

жены в труднодоступных местах, где работа по замене трудоемка и зачастую сопряжена с риском для жизни.

Светодиод – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его спектральные характеристики зависят, в том числе от химического состава использованных в нем полупроводников.

В отличие от других ламп светодиодные не имеют вольфрамовых нитей накаливания, как в галогенных лампах (лампах накаливания) и в люминесцентных лампах, которые могут перегореть или сломаться от тряски. Также они не содержат ртути и других веществ, вредных для здоровья, по сравнению с люминесцентными лампами. К числу преимуществ стоит также отнести разнообразие цветов, направленность излучения, низкое рабочее напряжение, высокий ресурс прочности.

Светодиодные светильники – это твердотельные источники освещения. Они отлично переносят низкие температуры, в отличие от ламп накаливания, которые не могут выйти на рабочий режим, когда нить накаливания не может нагреться до необходимой температуры, и в отличие от газоразрядных ламп, которые при низких температурах начинают мерцать. Целесообразность использования светодиодных светильников в регионах России с низкими зимними температурами резко возрастает.

К положительному качеству для наружного освещения можно отнести отсутствие стекла в самом светодиоде. В зависимости от необходимого типа диаграммы направленности света в большинстве случаев в светильнике не требуется установка рассеивателя. Рассеиватель в традиционных светильниках увеличивает потери светового потока, и, чем грязнее со временем становится рассеиватель, тем больше сокращается световой поток.

Наиболее важной характеристикой для светодиодов, как для источника наружного освещения будущего, является их полная интеграция в интеллектуальные системы управления, которые позволяют достичь максимально возможной экономии электроэнергии благодаря мониторингу ситуации и внедряемым сценариям включения и регулировки света.

Самый большой недостаток светодиодной лампы – высокая стоимость. Светодиодные светильники дороже ламп накаливания или ртутных ламп примерно раз в семь, но они значительно экономят электроэнергию, примерно в 3–5 раз, и практически не требуют затрат на эксплуатацию и утилизацию. Срок службы светодиодов – около 50 тыс. ч, и при грамотном использовании он может достигать до 15 лет. Окупаются системы светодиодного освещения в течение 7–8 лет.

В отличие от привычных ламп накаливания, где питающее напряжение строго нормировано для каждого вида ламп, светодиоду необходим номинальный рабочий ток. Из-за этого появляются дополнительные электронные узлы, называемые источниками тока. Это обстоятельство влияет на себестоимость системы освещения в целом.

При питании пульсирующим током промышленной частоты светодиоды мерцают сильнее, чем компактная люминесцентная лампа, которая в свою очередь мерцает сильнее, чем лампа накаливания. За счет быстроты зажигания они могут излучать даже кратковременные помехи и электрические шумы (например, от наводок), что обнаруживается при экспериментальном сравнении с лампами других типов осциллографом, к которому подключен фотодиод.

При проектировании систем наружного освещения грузовых и пассажирских железнодорожных станций и платформ, открытых территорий депо, ремонтных заводов, искусственных сооружений, а также искусственного внутреннего освещения производственных и вспомогательных помещений депо, ремонтных заводов и других объектов железнодорожного транспорта рекомендуется преимущественно применять осветительные светодиодные приборы, предназначенные для наружного и внутреннего освещения.

Таким образом, в соответствии с нормативными документами горизонтальную освещенность площадок предприятий в точках ее минимального значения на уровне Земли или дорожных покрытий следует принимать: для железнодорожных путей – 5 лк, стрелочных горловин – 2 лк, отдельных стрелочных переводов – 1 лк, железнодорожного полотна – 0,5 лк.

Освещенность путей пассажирских и технических станций должна быть не менее 5 лк, переездов I категории – 5 лк, II категории – 3 лк, III категории – 2 лк, IV категории – 1 лк (уровень освещенности должен быть доведен до 5 лк по планам железных дорог в первую очередь переездов II категории, затем III и IV категорий).

Сегодня много компаний предлагают светодиодные светильники различного качества. Поэтому, с течением времени выявляются не только лидеры продаж, но и надежные изготовители. ОАО «РЖД» в течение многих лет является ключевым заказчиком для компании «Светлана-Оптоэлектроника», причем с каждым годом количество совместно реализуемых проектов стабильно увеличивается.

Так в период с 2009 по 2011 гг. на предприятиях инфраструктуры ОАО РЖД было внедрено светодиодное освещение на:

- 10 станционных комплексах;
- 53 платформах;
- в цехах технического обслуживания;
- постах электрической централизации (ЭЦ).

Проведенные расчеты показали, что продолжение внедрения светодиодных систем на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта в течение 5 лет позволит добиться следующих показателей:

- увеличить экономию электроэнергии от 700 тыс. руб. до 1 000 тыс. руб. в год, на один километр железнодорожного полотна, т.е. до 80 % по сравнению с традиционными системами;
- увеличить срок обслуживания оборудования, от 5 до 15 лет;
- снизить затраты на обслуживание, особенно важно там, где установка производится в труднодоступных местах (туннели, высотные объекты, промышленность);

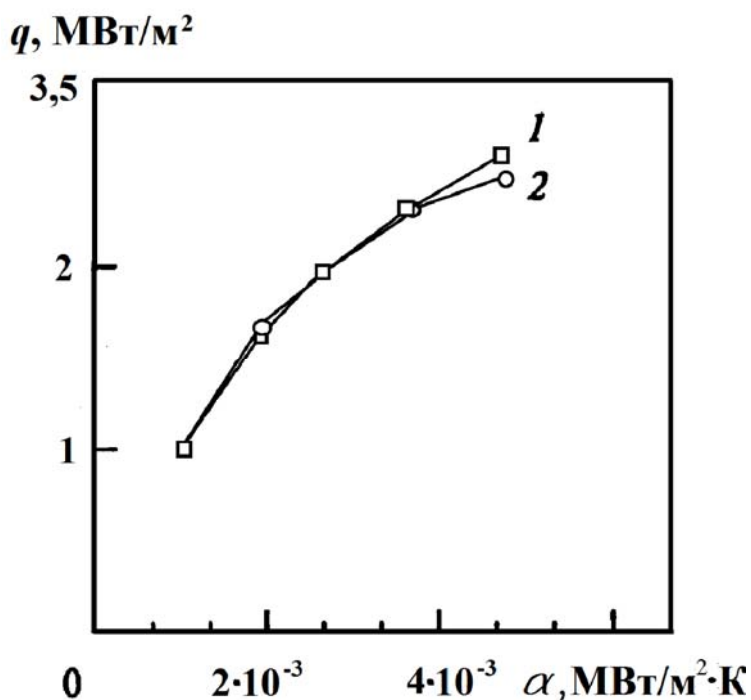
- снизить затраты на электротехническую часть, токоведущие кабели, автоматы и пр.;
- повысить соблюдение требуемых норм освещения и безопасности.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ЗАМЕНЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Аловадинова Х.Н., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
hulkar\_welcome@mail.ru

В мире 93 % всей стали разливается в машины непрерывного литья заготовок [1]. Ежегодно в 13 ручьев криволинейных МНЛЗ в ККЦ Магнитогорского металлургического комбината ОАО «ММК» разливается около 10 млн т стали в год.

Охлаждение стали производится водой, что сопровождается повышенными энергозатратами [2]. В настоящее время значительное количество теплоты, отведенной от металла, в пределах МНЛЗ не используется и теряется в окружающей среде.



Значения плотностей  
теплового потока для воды  
и Na-K-сплава:  
1 – Na-K; 2 – вода

Емельянов В.А. [3] на основе проведенного им теплового баланса установил, что в пределах кристаллизатора МНЛЗ от слитка отводится 16 % тепла стали. Температура охлаждающей воды, нагретой в кристаллизаторе и роликах МНЛЗ, обычно не превышает 40-50 °С, а нагрев воды составляет 10-20 °С. Отводимую охлаждающей водой в кристаллизаторе и роликах

теплоту целесообразно и возможно утилизировать, но для этого нужно повышение ее температурного уровня [2].

При непрерывной разливке стали теплота, отводимая в кристаллизаторах, может использоваться путем испарительного охлаждения, но этот способ не нашел широкого применения, из-за низкой эффективности и низкой температуры получаемого пара.

Необходимо заменить воду на иной теплоноситель, который сможет полезно использовать теряющееся в настоящее время тепло и позволит сократить затраты на циркуляцию [4].

Из множества существующих в промышленности теплоносителей, по физическим свойствам для температурного интервала 450-800 °С в высокотемпературных установках жидкометаллические теплоносители являются наиболее подходящими. Их применение позволит использовать теплоту стали, при этом необходимо, чтобы тепловая работа МНЛЗ осталась неизменной, замена теплоносителя в кристаллизаторе МНЛЗ не повлияла на качество продукции, а также на надежность и долговечность его стенок.

Расчеты для воды и Na-K сплава показали, что в одинаковых теплофизических условиях тепловой поток для обоих теплоносителей одинаковый (рисунок).

Оценка проводилась для воды и натрий - калиевого теплоносителя.

Уравнение теплопередачи: 
$$q = \frac{(t_c - t_m)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где:  $t_c$  – температура жидкой стали, °С;  $t_m$  – температура теплоносителя на выходе из кристаллизатора, °С;  $\delta$  – толщина стенки кристаллизатора, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности медно-серебряного кристаллизатора, Вт/м·К;  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от жидкой стали к стенке, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи теплоносителя, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

При замене теплоносителя тепловая работа кристаллизатора останется неизменной и появляется возможность энергетического использования теплоты жидкой стали.

Из теплового баланса МНЛЗ [3] следует, что из кристаллизатора отводится 16 % тепла стали. От общего количества тепла это составляет около 210 МДж/т (7,16 кг у.т/т). Экономия при тепловой схеме с конденсационной турбиной при  $\eta = 40$  % составит 2,9 кг.у.т/т.

Для ККЦ ОАО «ММК» при выплавке 10 млн т стали в год экономия может составлять 29 тыс. т у.т. или около 60 млн руб.

Таким образом, замена теплоносителя в МНЛЗ открывает возможность значительной экономии топлива всех видов, которые затрачиваются при производстве стали.

#### *Библиографический список*

1. The World Steel Association (worldsteel) [Электронный ресурс] URL: <http://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2012/2011-world-crude-steel-production.html>
2. Лукин С.В., Поселужный Д.Н., Кибардин А.Н. Использование теплоты охлаждения стали, разливаемой на машинах непрерывного литья заготовок, в системе теплоснабжения предприятия // Промышленная энергетика. 2013. № 5. С. 7-9.
3. Емельянов В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок. М.: Металлургия, 1988. 143 с.
4. Аловадинова Х.Н., Демин Ю.К., Картавец С.В. Оценка эффективности охлаждения в кристаллизаторе МНЛЗ // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: материалы 14-й всерос. науч.-пр. конф. студ., асп. и спец. 21-23 мая 2013 г. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. С. 122–125.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ВСТУПЛЕНИЯ В ВТО

*Атаманюк О.В., Трубицын К.В.  
Самарский государственный технический университет  
tef-samgtu@yandex.ru*

Высокую роль энергетики в современной России сложно переоценить. Энергетика – та отрасль, которая обеспечивает бесперебойное функционирование всех остальных отраслей экономики нашей страны. Отрасль обеспечивает 29 % ВВП России, 49 % дохода бюджетной системы и 64 % всех валютных поступлений [2]. При численности населения страны менее 2,5 % от населения Земли геологические запасы ее энергоресурсов оцениваются величиной около 30 % от суммарных мировых запасов. Прежде всего, это говорит о мощном энергетическом потенциале, которым обладает Российская Федерация.

Главным вектором развития энергетической отрасли России в условиях членства во Всемирной торговой организации является достижение конкурентоспособности российской экономики на мировом рынке за счет инвестирования доходов от экспорта энергии и энергоносителей в развитие других сфер хозяйственной деятельности в стране.

Ежегодно удельный вес топливно-энергетических товаров, составляющих основу российского экспорта, в товарной структуре экспорта в страны дальнего зарубежья растет. Так, пример, за последний год он вырос на 0,3 % (2011 г. – 72,7 %; 2012 г. – 73 %).

Стоимостной объем топливно-энергетических товаров также неуклонно растет (в 2012 году на 2,6% по сравнению с 2011 годом), в то время как физический объем снижается (на 7,2%).

Динамика роста и спада физических объемов экспорта товаров топливно-энергетического комплекса в страны дальнего зарубежья и СНГ в 2012 г. по сравнению с 2011 г. показана на рис. 1 и 2, соответственно.

В страны СНГ доля экспорта топливно-энергетических товаров в товарной структуре экспорта составила 55,4 %, что на 0,1 % больше, чем в 2011 году [3].

Товарная структура импорта из стран СНГ менялась незначительно: удельный вес топливно-энергетических товаров снизился на 3,7 % (2011 г. – 9,2 %; 2012 г. – 5,5 %). Стоимостной объем этой товарной группы в сравнении с 2011 годом пошел на спад: фактически снизился на 46,5 %. Физический объем упал на 5,0 %. Физические объемы ввоза каменного угля и нефтепродуктов сократились соответственно на 9,6 % и 73,5 %, а электроэнергии увеличились на 240 % (в 2,4 раза) [3].

Множество тезисов, ставивших под сомнение объективную потребность в членстве России в ВТО, а также возможные преимущества, которые наша страна может получить при этом, высказывались ещё до момента вступления в эту международную организацию.

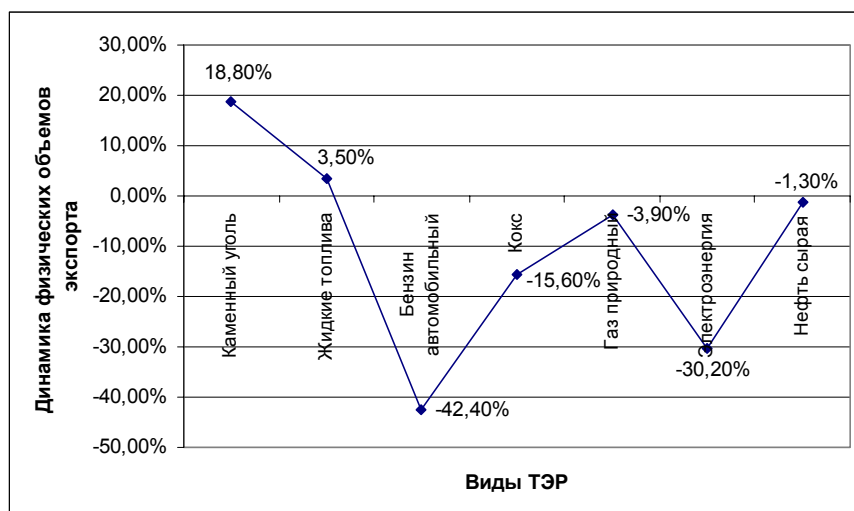


Рис. 1. Динамика физических объемов экспорта топливно-энергетических товаров России в страны дальнего зарубежья

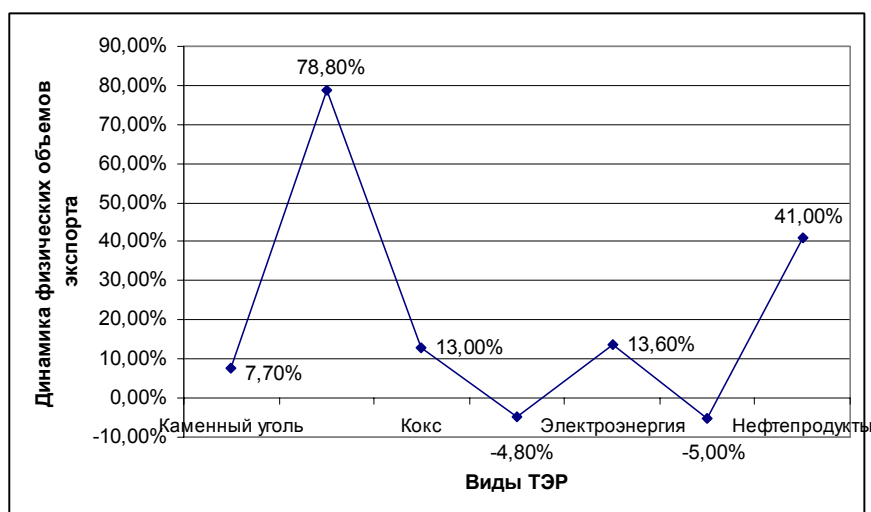


Рис. 2. Динамика физических объемов экспорта топливно-энергетических товаров России в страны СНГ

При существующей структуре экспорта и достаточном природном запасе топливно-энергетических ресурсов наша страна гарантировала себе на многие годы вперед наличие контрактов на экспорт ТЭР в страны, которые в них нуждаются.

Правительства большинства стран ещё до недавнего времени были уверены в том, что энергетический сектор чрезмерно важен, чтобы отдавать его в рыночную экономику. До сих пор не отлажено применение торгово-политического инструментария. «Серая зона» – именно таковой является энергетика для ВТО.

Однако сегодня ситуация меняется. И изменения эти происходят под воздействием таких факторов, как глобальное потепление климата, глобализация общемировой конкуренции, диверсификация потребления энергоресурсов и др.



Начало нового раунда многосторонних торговых переговоров (МТП) обозначило высокий интерес к “энергослугам”. В рамках МТП свои предложения по устранению барьеров в доступе на энергетический рынок высказали 8 членов ВТО, среди которых такие экономически развитые страны, как США, Япония, Канада, страны ЕС и т.д. [4].

Вместе с тем сегодня представляются невозможными требования к России в области либерализации энергетических услуг.

Экспортные (вывозные) таможенные пошлины России на некоторые виды энергоресурсов на 1 января 2013 г. представлены на рис. 3.

Администрирование перемещения через таможенную границу Таможенного союза нефти, природного газа и нефтепродуктов обеспечило поступление в 2012 году в федеральный бюджет вывозных таможенных пошлин в размере 4053,4 млрд руб., что позволило выполнить в 2012 году контрольные показатели формирования федерального бюджета в части нефтегазовых доходов, администрируемых ФТС России, на 101,1 % [3].

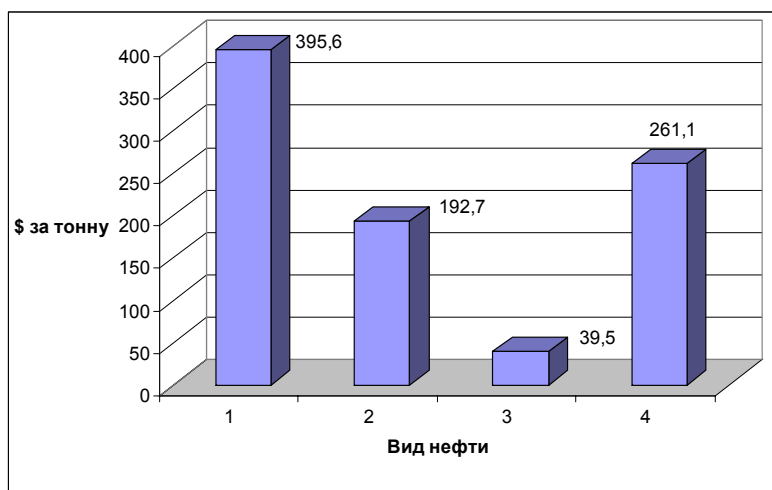


Рис. 3. Размер экспортных таможенных пошлин на различные виды энергоресурсов:  
1 – нефть; 2 – нефть Восточной Сибири, каспийских месторождений и Приразломного месторождения (льготная ставка); 3 – сверхвязкая нефть (ставка в размере 10 % от пошлины на нефть); 4 – светлые и темные нефтепродукты (66 % от пошлины на нефть)

#### *Библиографический список*

1. Решение Комиссии Таможенного союза № 519 от 28.01.2011 «О некоторых вопросах перемещения товаров по линиям электропередачи и трубопроводным транспортом».
2. Топливо-энергетический комплекс России: 2000-2007 гг.: справочно-аналитический обзор. М.: ИАЦ «Энергия», 2008. 432 с.
3. Федеральная таможенная служба Российской Федерации: официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: [www.customs.ru](http://www.customs.ru).
4. «Энергетическая» проблематика в ВТО: тезисы к докладу Е.В. Данилова [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wto.ru/monitor.asp?f=asisumit/danilova>.

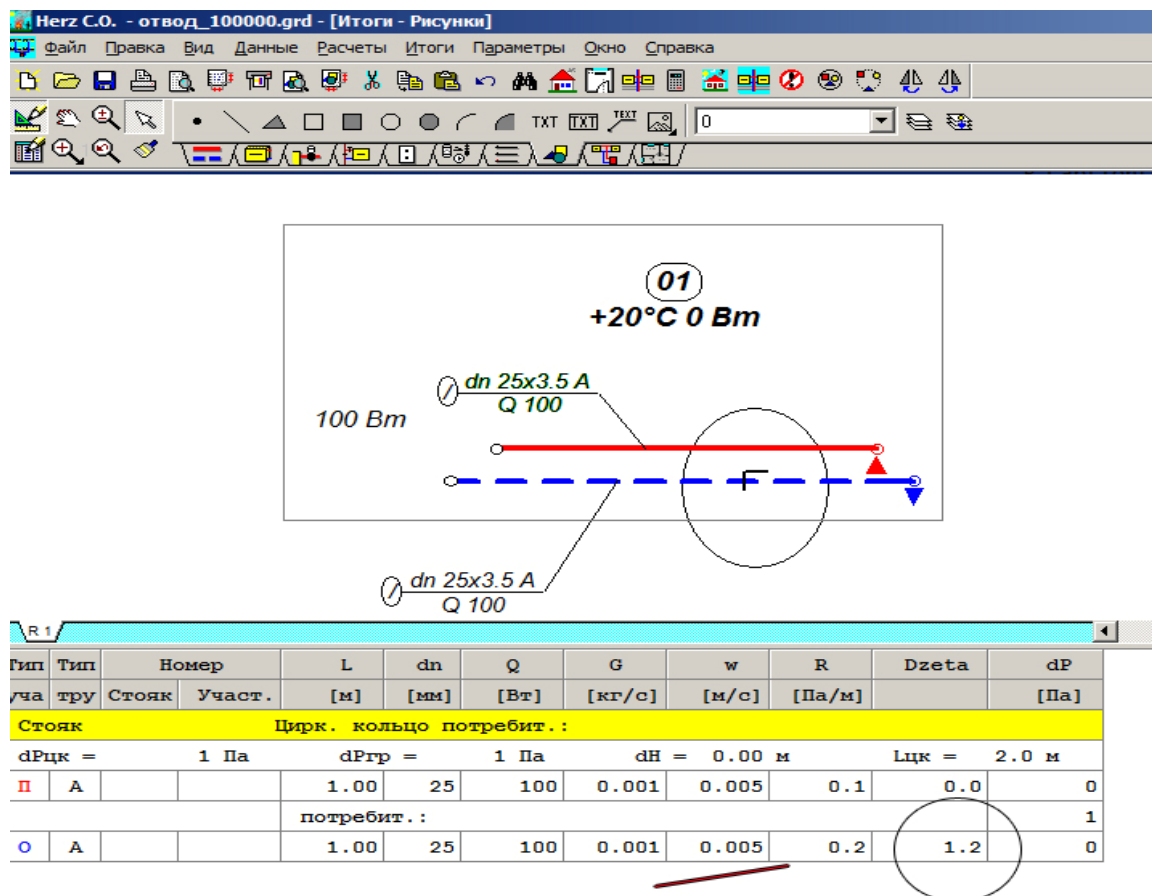
## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ «HERZ»**

*Береснева Ю.А., Ширяева Н.П.  
УрФУ, kafedratgiv@yandex.ru*

Российский рынок оборудования для водяных систем отопления широко представлен рядом зарубежных компаний, в частности, австрийской компанией «HERZ Armaturen», одним из ведущих мировых производителей регулирующей и запорной арматуры, соединительных фитингов, тепловых насосов и котлов на биомассе.

В 2012/2013 учебном году компанией «HERZ Armaturen» был объявлен конкурс на лучший дипломный проект с применением оборудования и расчетно-графической программы для систем отопления фирмы ГЕРЦ. В конкурсе победил дипломный проект на тему «Отопление и вентиляция торгового центра в г. Артемовский Свердловской области». Рассматриваемый в проекте торговый центр является многофункциональным трехэтажным зданием, в котором располагаются тренажерный зал, продовольственный магазин, предприятие общественного питания и офисные помещения. Разработанная в здании двухтрубная водяная система отопления с попутным движением теплоносителя должна обеспечить тепловой комфорт и требуемые тепловые условия во всех отапливаемых помещениях. Система отопления торгового центра позволяет в автоматическом режиме изменять тепловую нагрузку на отопительные приборы в зависимости от вносимых в помещение регулярных и нерегулярных теплоступлений в результате комплексного применения оборудования компании «HERZ Armaturen».

Для увязывания потерь давления на магистральных участках обратного трубопровода применяются ручные балансировочные клапаны ШТРЁМАКС-М, имеющие гидравлическую преднастройку для установки требуемого гидравлического сопротивления, а на подающем трубопроводе – запорные вентили ШТРЁМАКС-А [1]. Балансировочный клапан ШТРЁМАКС-М – это устройство вентильного типа с механическим ограничителем подъёма шпинделя. Он одновременно выполняет функцию запорного устройства. Вентиль ШТРЁМАКС-М имеет наклонный шпиндель и, следовательно, обладает меньшим гидравлическим сопротивлением и меньшей металлоёмкостью. Степень преднастройки клапана определяется по номограмме в зависимости от его пропускной способности  $K_v$ . Значение предварительной настройки совпадает с числом поворотов маховика вентиля. Визуально степень преднастройки оценивается по шкале, нанесённой на шпинделе вентиля под маховиком. Теплогидравлический расчёт системы отопления торгового центра выполнен в программе «HERZ-CO». Фрагмент расчётной схемы приведён на рисунке.



Фрагмент схемы для гидравлического расчёта  
в программе HERZ-CO

Для автоматического регулирования тепловой нагрузки на подающих подводках к отопительным приборам (конвекторам КСК-20) установлены термостатические клапаны [2] с предварительной настройкой гидравлического сопротивления ГЕРЦ-TS-90-V и ГЕРЦ-TS-FV, на обратных подводках для отключения приборов установлены запорные вентили ГЕРЦ-RL-1 [1]. Термостатический клапан с термостатической головкой является пропорциональным регулятором прямого действия, то есть любому изменению температуры помещения соответствует пропорциональное изменение хода вентилья, и, как следствие, изменение расхода воды, поступающей в отопительный прибор.

Вся продукция компании «HERZ Armaturen» сертифицирована Госстандартом Российской Федерации. Арматура ГЕРЦ адаптирована к работе в условиях повышенного загрязнения теплоносителя, что весьма важно для условий российского рынка.

#### Библиографический список

1. Яушовец Р. Гидравлика – сердце водяного отопления. Вена: ГЕРЦ Арматурен Г.м.б.Х, 2005. 165 с.
2. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Актуализированная редакция СНиП 41–01–2003. Введён 01.01.2013. М.: Минрегион России, 2012. 80 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА**

*Быкова О.В., Хейло Д.В., Хайруллин И.А., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет*

На сегодняшний день в России износ оборудования котельных составляет почти 60 %. Поддерживать их в рабочем состоянии с каждым годом все труднее и затратнее. Да и КПД многих эксплуатируемых установок крайне низкий. В настоящее время распространены схемы, придуманные еще в советские времена, когда котельная завода отапливает многоквартирные дома.

В г. Магнитогорске теплоснабжение жилищного фонда осуществляют 16 источников тепловой энергии, которые относятся к 7 теплоснабжающим организациям. Основные источники централизованного теплоснабжения г. Магнитогорска: ТЭЦ, ЦЭС, являющиеся собственностью ОАО "ММК". От ТЭЦ и ЦЭС обеспечивается 51 % суммарной договорной нагрузки потребителей города, от котельных МП трест "Теплофикация" – 42 %.

Также источниками централизованного теплоснабжения являются котельные городских предприятий, которые помимо собственных нужд отпускают тепло на жилищный фонд и объекты бюджетной сферы и обеспечивают 7 % договорной нагрузки. Функциональная структура централизованного теплоснабжения города представляет разделенное между разными юридическими лицами производство тепловой энергии и транспорт ее до потребителя.

В современных условиях такие схемы вызывают множество проблем, связанных с финансовыми трудностями промышленных предприятий, формой собственности и реорганизацией, нежеланием сотрудничать с потребителями.

Для надежной поставки тепловой энергии потребителям возникает необходимость в альтернативном источнике тепла, который бы позволил решить все существующие проблемы и использовался первоначально в качестве резервного источника теплоснабжения, а при необходимости заменил бы существующие промышленные источники тепла.

Альтернативный источник энергии должен удовлетворять современным техническим и экологическим требованиям. На котельных города основным топливом является природный газ. Его доля в топливном балансе котельных города составляет 99 %, на мазут и другие нефтепродукты приходится – 1 %. Но экономичность и экологическая чистота газа проявляются только в сравнении с устаревшими угольными технологиями, развитие которых также было задержано «газовой паузой».

Известно, что газовая пауза имеет тенденцию к завершению, а в мировой науке и технике идет интенсивная разработка чистых угольных технологий, что актуализирует разработку альтернативных источников теплоты на основе чистых угольных технологий для коммунального теплоснабжения. Одной из таких технологий является способ сжигания горючих материалов в кипящем слое. Применительно к углю этот способ позволяет эффективно и экологически безопасно сжигать угли различного качества, в том числе низкосортные.

Новейшие чистые угольные технологии включают в себя, в том числе и сжигание углей в расплаве, при этом минеральная часть углей (в среднем 20 % массы) полностью улавливается расплавом, имеет высокую температуру 1600 – 2000°C и готова к переработке по одному из направлений, например – на плавленный цементный клинкер, который может быть использован для производства бетона в дорожном строительстве.

Для обеспечения тепловой нагрузки, необходимой для отопления жилого фонда города численностью населения около 400 тыс. человек, в климатических условиях Южного Урала, с продолжительностью отопительного периода более 200 дней необходимо около 2000000 Гкал, что требует 417 МВт тепловой мощности в среднем за отопительный период. Для замены существующих источников тепла от крупных промышленных предприятий на независимый коммунальный источник тепла требуется 210 МВт тепловой мощности в среднем за отопительный период. С учетом неравномерности отопительной нагрузки, можно принять общую мощность ТЭЦ 240 МВт (80 МВт электрической и 160 МВт тепловой).

Расчетные оценки показывают, что станция мощностью 240 МВт при работе на угле с теплотой сгорания 24 МДж/кг и зольностью 20 %, порождает поток минеральной массы 5 кг/с. Это создает предпосылки для непрерывного производства 13 кг/с цемента [2], из которого можно изготовить 0,05 м<sup>3</sup>/с бетона. Если этот бетон будет непрерывно укладываться в дорожное полотно толщиной 0,24 м и шириной 3,5 м, то скорость удлинения полотна составит 0,06 м/с. Суточное удлинение бетонной полосы при непрерывном процессе составит 5,2 км в расчете на одну полосу, или 1,3 км в расчете на 4 полосы.

Еще одно преимущество использования угля в качестве топлива – появляется возможность переработки твердых бытовых отходов, которые в большом количестве складываются без переработки и являются неисчерпаемыми из-за массового воспроизводства населением. При сжигании ТБО с низшей теплотой сгорания 5 МДж/кг и накопления ТБО около 350 кг/чел в год можно получить 66930 Гкал, что составляет 3 % от всей отопительной нагрузки.

Таким образом, резервный источник теплоснабжения на угле при условии одновременной безотходной переработки минеральной массы может предоставить преимущества, недостижимые при использовании газа.

#### *Библиографический список*

1. Хейло Д.В., Хайруллин И.А., Картавцев С.В. Энергоэкологическая оценка транспортных свойств основных видов ископаемых топлив. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2012. С. 203-206.
2. Бурмакина А.В., Лакирева А.И., Картавцев С.В. Энергоэффективное использование углей в комбинированном производстве. Магнитогорск: МГТУ им. Носова, 2004. С. 55.

### **БЕЗОПАСНЫЙ СВЕТОФОР**

*Быстрова Е.С., Каргаполова К.В., Лобунец О.Д.  
УрФУ, oleg\_lobunets@mail.ru*

Одной из существенных примет нашего времени является появление на автомобильных дорогах транспортных пробок. К образованию транспортных пробок часто приводят аварии на автомобильных дорогах, которые чаще про-

исходят на их перекрестках. Транспортные пробки приводят к длительным простоям автомобилей с включенными двигателями, что резко повышает расход бензина и удорожает процесс перевозки. Кроме того, гибнут и травмируются люди, отнимается много времени у населения, повреждается или уничтожается много автомобилей и загрязняется окружающая среда. Повысить безопасность проезда по дорогам возможно, улучшая организацию движения по ним, в том числе с помощью совершенствования алгоритмов работы светофоров.

Одним из направлений этой работы, по нашему мнению, является повышение уровня воздействия сигналов светофора на органы зрения участников дорожного движения. Такое повышение уровня воздействия в предлагаемой конструкции светофора возможно осуществить, заменив непрерывный характер его световых сигналов зеленого и, особенно, красного света на пульсирующий.

Схема предлагаемого светофора приведена на рисунке. Конструкция светофора состоит из двух генераторов тактовых импульсов, триггерного счетчика, дешифратора, логических схем, реализующих операции конъюнкции и ее отрицания, сигнального устройства и источника питания.

Сигналы с выхода первого генератора тактовых импульсов поступают на вход триггерного счетчика и вызывают его наполнение. При этом на выходах дешифратора поочередно появляются нулевые сигналы, которые, поступая на входы логических схем, вызывают появление на их выходах управляющих сигналов светофора. При этом под воздействием сигналов, поступающих с выхода второго генератора, происходит пульсация сигналов светофора зеленого и красного света.

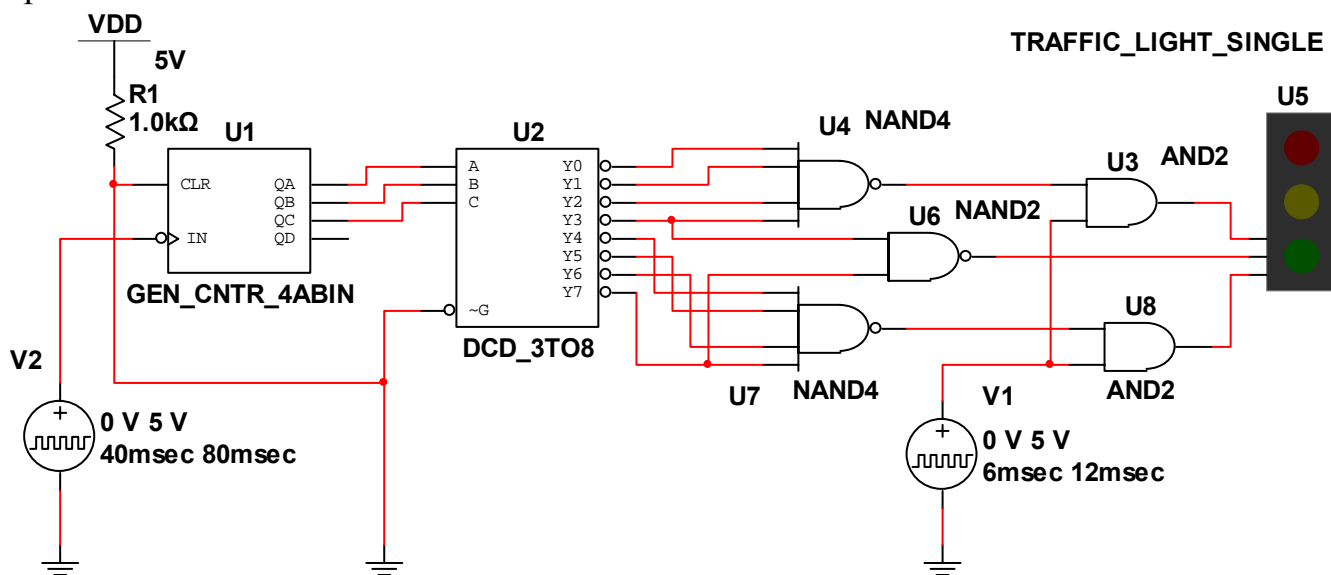


Схема безопасного светофора

Такая конструкция светофора, несомненно, обеспечит большую степень восприятия его сигналов на залитых как искусственным, так и естественным светом улицах, что сделает более безопасным проезд по дорогам на их перекрестках. Это приведет к уменьшению числа аварий на дорогах и размеров транспортных пробок. Улучшение организации движения повлечет за собой уменьшение травматизма на дорогах, простоев, сбережение значительного количества бензина, снижение уровня загрязнения окружающей среды.

# МОДЕРНИЗАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА АЭРАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ «ВОДОКАНАЛ»

Вайсулова Э.Ф., Безматерных М.А., Селезнева И.С.

УрФУ, i.s.selezneva@ustu.ru

Большинство российских водоканалов в рамках программ по повышению энергетической эффективности и качества очистки воды и стоков пытаются разрешить три основные проблемы:

- снизить потребление электроэнергии при осуществлении процесса очистки;
- повысить качество очистки воды и стоков;
- снизить потери воды в сетях водоснабжения.

На Северной аэрационной станции (САС) МУП «Водоканал» города Екатеринбурга очистка сточных вод проходит на достаточно высоком уровне. Однако сооружения требуют определенных доработок, поскольку процесс очистки сточных вод достаточно энергоемкий, основной затратной статьей в технологии очистки сточных вод являются расходы на электроэнергию. На САС одним из основных направлений энергосбережения является снижение потребления электроэнергии на обеспечение интенсивной аэрации в аэротенке.

В рамках настоящей работы в качестве энергосберегающего мероприятия рассматривается вопрос замены существующих мембранных аэраторов Нафи на более эффективные керамические аэраторы Бакор, которые представляют собой проницаемые для газа пластины различных геометрических форм, производимые из наномодифицированной высокопористой керамики с размером пор 100 мкм. Монтаж аэраторов предусматривается в существующие воздухопроводы. Конструкция аэраторов модульного типа из наномодифицированной пористой керамики представлена на рис. 1, схема работы – на рис. 2. Такая конструкция не требует специальных креплений в аэротенке, при этом штуцер подвода воздуха находится непосредственно в самом аэраторе.



Рис. 1. Аэратор модульного типа из пористой проницаемой керамики: рабочее расположение аэратора в аэротенке

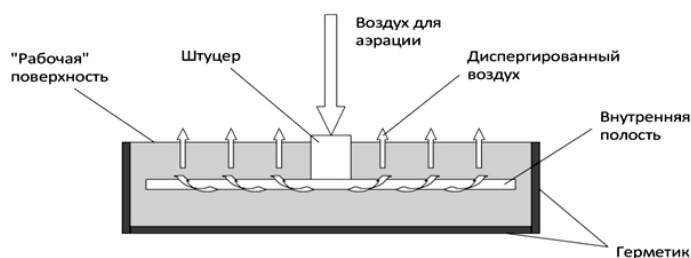


Рис. 2. Схема работы аэратора модульного типа из пористой проницаемой керамики [1]

Аэраторы Бакор обеспечивают мелкопузырчатую аэрацию (размер пузырьков 0,5-1 мм, стократное увеличение количества пузырьков) при меньшем расходе воздуха, в связи с этим возможно уменьшение мощности используемых

воздуходувок. В настоящее время на станции применяются воздуходувки Aerzener GM 80 с частотно-регулируемым приводом номинальной мощностью 132 кВт. Число оборотов двигателя воздуходувки регулируется частотным регулятором CombiVario CV-7600 от сигнала датчика содержания растворенного кислорода в аэротенке [2], расход электроэнергии при этом составляет 4916,33 тыс. кВт·ч. В случае использования предложенных нами керамических аэраторов «Бакор» снижается расход воздуха, поэтому с помощью частотного регулятора можно снизить мощность воздуходувки на 50 %, т.е. до 66 кВт, было рассчитано проектное потребление электроэнергии с учётом снижения мощности воздуходувок, оно составит 2458,16 тыс. кВт·ч.

Показатели работы станции в базовом году и предполагаемое снижение расхода электроэнергии в проектном году представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели работы САС МУП «Водоканал»  
(по ГОСТ Р 51379–99 [3])

| Поз. | Показатель  | Ед. изм.                                | Базовый год        | Проектный год     |
|------|---|---|--------------------|-------------------|
| 1    | Объем производства продукции                                    | тыс. руб.                               | 88865,302          | 83481,925         |
| 2    | Очищенные сточные воды  | тыс. м <sup>3</sup> /год                | 27010,730          | 27010,730         |
| 3    | Потребление энергоресурсов                                      | т у.т.<br>тыс. руб.                     | 603,97<br>10766,75 | 301,99<br>5383,38 |
| 4    | Энергоемкость производства продукции                            | $\frac{\text{т у.т.}}{\text{тыс. м}^3}$ | 0,022              | 0,011             |
| 5    | Доля платы за энергоресурсы в стоимости произведенной продукции | –                                       | 0,399              | 0,199             |

Таким образом, за счет замены мембранных аэраторов Nafi на керамические Бакор энергоемкость биологической очистки сточных вод уменьшится на величину 0,011 т у.т./тыс. м<sup>3</sup>, что составляет 50,0 %. При этом снижение потребления электроэнергии составит 301,98 т у.т./год.

Была рассчитана эффективность внедрения керамических аэраторов Бакор, в качестве энергосберегающего мероприятия, и проведена ее оценка.

Результаты расчета затрат на реализацию мероприятия приведены в табл. 2.

Таблица 2

Смета капитальных затрат на модернизацию аэрационной системы

| Наименование затрат  | Сумма, тыс. руб. |
|--|------------------|
| Стоимость нового оборудования  | 6120,00          |
| Затраты на доставку; 10 % от стоимости нового оборудования                           | 612,00           |
| Затраты на монтаж нового оборудования; 0,4 % от стоимости нового оборудования        | 24,192           |
| Итого для расчёта стоимости основных фондов  | 6756,192         |
| Затраты на демонтаж выбывающего оборудования; 0,2 % от стоимости нового оборудования | 12,096           |
| Неучтённые затраты, 10 %   | 676,829          |
| Итого для финансирования и оценки экономической целесообразности                     | 7445,1168        |



Реализовав выбывающие мембранные аэраторы по остаточной стоимости, можно сократить затраты на модернизацию системы аэрации до:

$$З_{\text{м}} = 7445116,80 - 2930000 = 4515116,80 \text{ руб.}$$

Рассмотренное мероприятие по замене мембранных аэраторов Hafi на более эффективные аэраторы Бакор является средnezатратным (1,05 руб./руб. вложений). Срок окупаемости составляет 11,4 месяца. Предлагаемая замена мембранных аэраторов на новые аэраторы из наномодифицированной керамики даст существенный энергосберегающий эффект, который в денежном выражении составит 5383,38 тыс. руб./год.

Таким образом, использование аэраторов Бакор обеспечит более эффективную очистку сточных вод при минимальных затратах электроэнергии. Сокращение затрат на электроэнергию возможно благодаря уменьшению расхода воздуха и, как следствие, снижению мощности воздуходувок.

#### *Библиографический список*

1. Материалы сайта Научно-технический центр «Бакор» [Электронный ресурс] URL: [http://www.ntcbacor.ru/research/articles/razrabotka\\_i\\_opyt\\_polupromyshlennyh\\_ispytaniy\\_innovacii\\_tehnologii\\_araci/](http://www.ntcbacor.ru/research/articles/razrabotka_i_opyt_polupromyshlennyh_ispytaniy_innovacii_tehnologii_araci/). (Дата обращения 07.04.13).
2. Постоянный технологический регламент процесса очистки сточных вод на участке Северной аэрационной станции МУП «Водоканал» города Екатеринбурга. Екатеринбург, 2012. 78 с.
3. ГОСТ Р 51379–99. Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В СРЕДЕ MatLAB**

*Валиуллин К.Р.  
Оренбургский государственный университет  
LordCantrbury@mail.ru*

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам автоматического регулирования уличного освещения. Основной задачей при проектировании систем автоматического регулирования становится разработка оптимальных алгоритмов управления, которые могли бы обеспечить наиболее рациональное использование осветительных установок. В то же время, проверка оптимальности полученных алгоритмов во многом затруднительна, а зачастую и вовсе невозможна. В связи с этим, для того чтобы оценить эффект внедрения системы автоматического управления, применяется математическое моделирование систем управления.

В данной работе рассматривается математическая модель регулятора уличного освещения для отдельной осветительной установки, выполненная в среде MatLAB. Вид модели представлен на рис. 1.

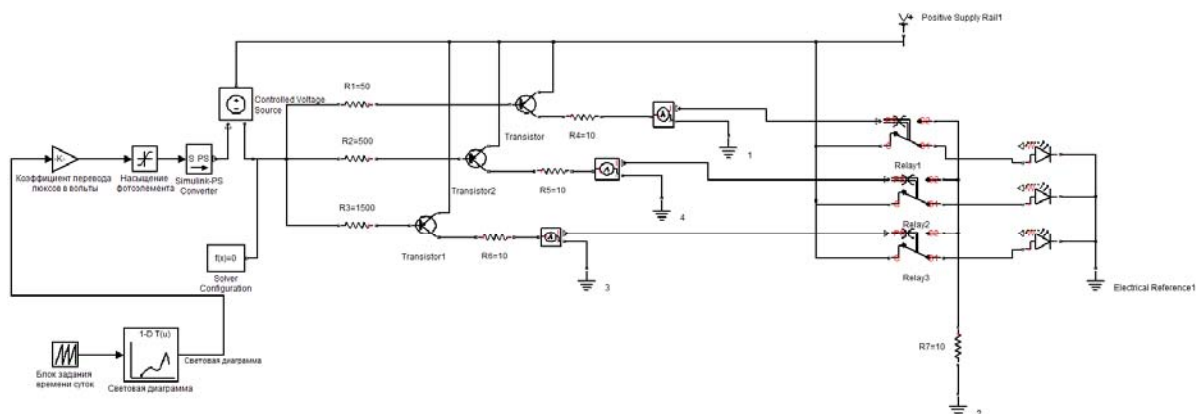


Рис. 1. Общий вид модели

Структурную схему регулирования уличного освещения в соответствии с теорией управления можно представить в виде рис. 2.

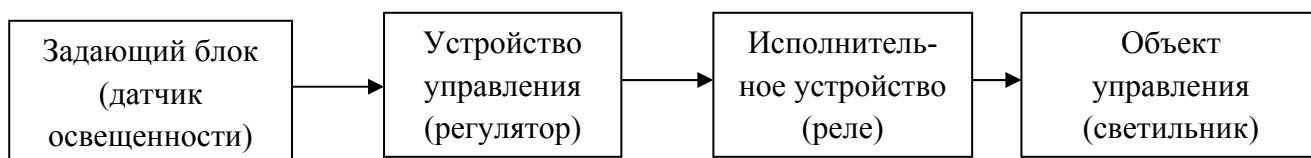


Рис. 2. Структурная схема регулятора

Охарактеризуем каждый компонент схемы в отдельности:

1. *Задающий блок* в данной работе представлен в виде математического блока и смоделированного датчика освещенности.

Математический блок представлен семейством световых диаграмм, одна из диаграмм представлена на рис. 3.

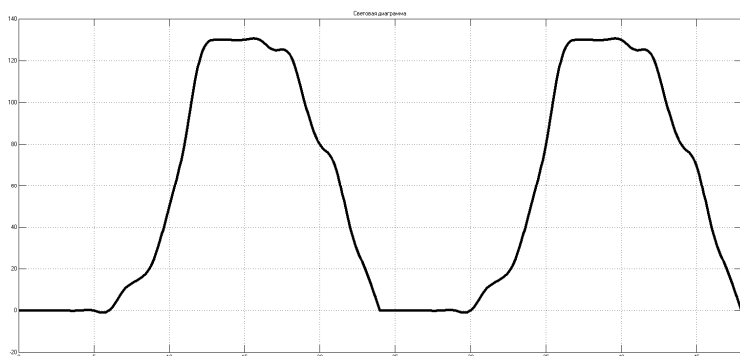


Рис. 3. Световая диаграмма экспериментальных значений освещенности для двух суток

Смоделированный датчик освещенности определяется следующими значениями: коэффициентом соответствия показаний датчика уровню освещенности, диапазоном выходного значения, в этой работе – это диапазон напряжений, причем возможно задание любого коэффициента сопоставления и учет насыщения для фотоэлементов. Заданные значения освещенности сопоставляются с показаниями фотоэлемента (датчика).

В связи с этим входными данными задающего блока являются значения световых (ой) диаграмм (ы), а выходным параметром – значения напряжений на фотозlemente в каждый момент времени.

2. *Устройство управления* (регулятор), состоящее из транзисторов и резисторов, с помощью которых осуществляется автоматическое регулирование моментов включения и выключения осветительной установки. Смоделированная в данной работе схема регулирования характеризуется (определяется, задается) следующими значениями:

- параметры используемых транзисторов: статический коэффициент передачи тока, значение обратного тока коллектора, сопротивления p-n переходов;

- сопротивление резисторов, служащее для настройки регулятора на определенную освещенность срабатывания.

Входными данными устройства управления являются: значения показаний датчика освещенности, полученные от предыдущего блока; а выходными – значения токов коллекторной ветви каждого из транзисторов.

3. *Исполнительное устройство*. В разработанной модели представлено в виде реле, которое задается следующими параметрами: временем срабатывания, величиной тока срабатывания, значением сопротивлений контактов. Состояния реле определяют включение или выключение определенной группы светильников.

Входные параметры этого блока – значение тока коллекторной ветви транзисторов, а выходные – мощность осветительной установки.

Рассмотрим принцип действия разработанной модели в MatLAB-e.

При достижении величиной освещенности (сплошная кривая) определенного значения (точка 1), срабатывает первое реле, и часть светильника отключается. При достижении точки 2, срабатывает следующее реле и отключает еще одну часть светильника. В точке 3 освещение полностью отключается. Затем, начиная с точки 4, происходит обратный процесс – сначала включается первая часть светильника, затем вторая (точка 5), затем третья (точка 6). По положению точек можно определить время включения каждой из частей светильника и отрегулировать их положение изменением параметров регулятора.

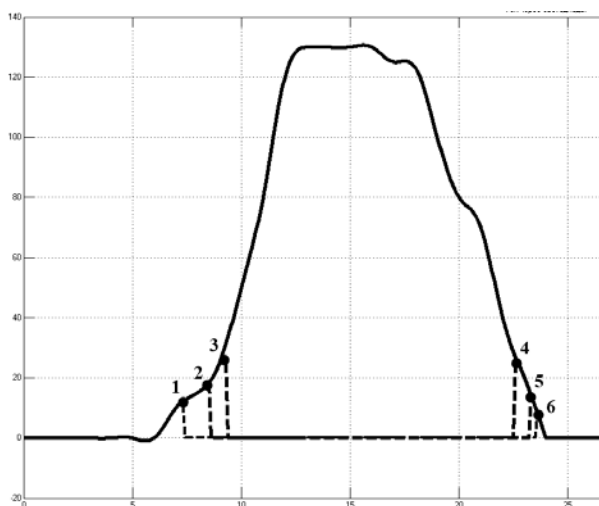


Рис. 4. Результат работы модели

Таким образом, разработанная модель позволяет подобрать оптимальные параметры элементов регулятора уличного освещения, оценить его работу и экономический эффект от его внедрения.

## РАЗРАБОТКА УЗЛА НАГРЕВА ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ УГОЛЬНОЙ ПГУ

*Вальцев Н.В., Микула В.А., Рыжков А.Ф., Змеева А.В.  
УрФУ, tes.urfu@mail.ru*

Повышение термической эффективности и экологичности угольной энергетики по-прежнему остается важной задачей. С этой точки зрения перспективным представляется использование парогазовых установок с внутрицикловой газификацией твердого топлива (ПГУ-ВЦГ). Однако коммерциализация данной технологии столкнулась с рядом сложностей, в результате чего угольные ПГУ пока не получили распространения. Кроме того, имеющиеся технологии предполагают использование затратной кислородной газификации и качественных энергетических углей. Поэтому для России была предложена и проработана в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (госконтракт № 14.516.11.0043 от 29 марта 2013 г.) перспективная технология ПГУ, позволяющая повысить КПД на 5-7 % по сравнению с паросиловым циклом, а также использовать местные виды топлива и воздушную газификацию.

Ключевым элементом в данной схеме ПГУ-ВЦГ является высокотемпературный воздушный котел (ВК), от его работы зависит эффективность всей гибридной схемы. ВК представляет собой типичный пылеугольный котел, лишь с тем отличием, что в основную часть его поверхностей нагрева подается цикловый воздух под давлением, который затем (нагретый до 800-1000 °С) направляется в камеру сгорания газовой турбины.

Воздушный котел разрабатывался для схемы ПГУ-ВЦГ мощностью 285 МВт, расход циклового воздуха (ЦВ) – 548 кг/с, давление ЦВ – 1,85 МПа. Топливом для ВК служит уголь (в расчетах принимался кузнецкий) и полукокс, получаемый в газогенераторе.

Поиск оптимальной конструкции воздушного котла осуществлен с помощью расчетных исследований с применением коммерческих программных пакетов Ansys и SigmaFlame.

На начальном этапе разработки можно выделить следующие основные проблемы создания воздушного котла:

1. Выбор материалов для поверхностей нагрева ВК.
2. Организация внешнего теплообмена в топочной камере ВК.
3. Интенсификация внутреннего теплообмена в поверхностях нагрева ВК.

Основным ограничением при выборе компоновки ВК была допустимая температура металла. Наибольшей жаростойкостью обладают стали, легированные хромом, при содержании его 25...30 % максимальная температура для жаропрочных сталей достигает 1100...1200 °С. В газовых турбинах предельным уровнем температур металла рабочих лопаток, выполненных из жаропрочных сталей, считается 850-900 °С, однако они испытывают большие динамические нагрузки в отличие от трубных элементов ВК. В результате, была принята максимальная рабочая температура металла – не более 1000 °С.

Проблема организации внешнего теплообмена в топке решается:

- выбором соответствующей компоновки поверхностей нагрева – размещением панелей с наиболее низкой температурой циклового воздуха в области максимальных температур газов;
- регулированием максимальной температуры факела с помощью рециркуляции газов.

Поверхности нагрева циклового воздуха котла (рис. 1) состоят из секций радиационной части 1-6 (верхняя – ВРЧ, средняя – СРЧ и нижняя – НРЧ), покрывающих стены топки 7, и 2-х ступеней конвективной секции 10, 11. В верхней части топки находятся горелки 12. Из зоны горения горячие газы проходят через нижнюю часть котла, затем идут вверх через конвективную секцию и далее поток продуктов сгорания направляется в пароперегревательную часть 15 и воздухоподогреватель 16.

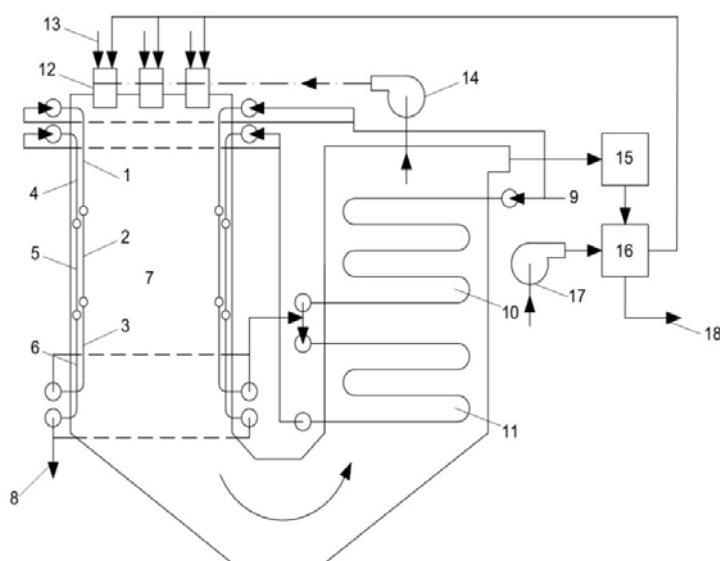


Рис. 1. Схема воздушного котла:

1 – ВРЧ-1; 2 – СРЧ-1; 3 – НРЧ-1; 4 – ВРЧ-2; 5 – СРЧ-2; 6 – НРЧ-2; 7 – топка; 8, 9 – поток циклового воздуха, соответственно на выходе и входе; 10, 11 – первая и вторая ступени конвективной секции, соответственно; 12 – горелки; 13 – поток топлива и первичного воздуха; 14 – дымосос рециркуляции продуктов сгорания; 15 – пароперегревательная часть; 16 – воздухоподогреватель; 17 – дутьевой вентилятор; 18 – выход продуктов сгорания

Поток циклового воздуха на входе в котел делится на две части. Часть воздуха прямооток проходит через первую секцию радиационных поверхностей нагрева 1-3, расположенных по центру на каждой стене топки, и должна обеспечить охлаждение металла труб до температуры ниже допустимой ( $1000^{\circ}\text{C}$ ). Вторая часть потока воздуха противоток проходит по секции 10, затем обе части соединяются, и весь поток воздуха противоток проходит через секцию 11, после чего окончательный нагрев ЦВ завершается в боковых секциях радиационных поверхностей 4-6.

Для регулирования максимальной температуры факела предусмотрена рециркуляция продуктов сгорания 14 из конвективной части в топку.

На рис. 2 в графическом виде представлены основные результаты расчетов ВК в программе SigmaFlame. Наиболее теплонапряженный участок находится на СРЧ-1, здесь требуемая температура стенки достигается при локальном значении коэффициента теплоотдачи к воздуху  $\alpha_v=120 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , близкая картина на СРЧ-2  $\alpha_v=110 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . На всех остальных поверхностях нагрева требуемый уровень заметно ниже  $\alpha_v=85 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

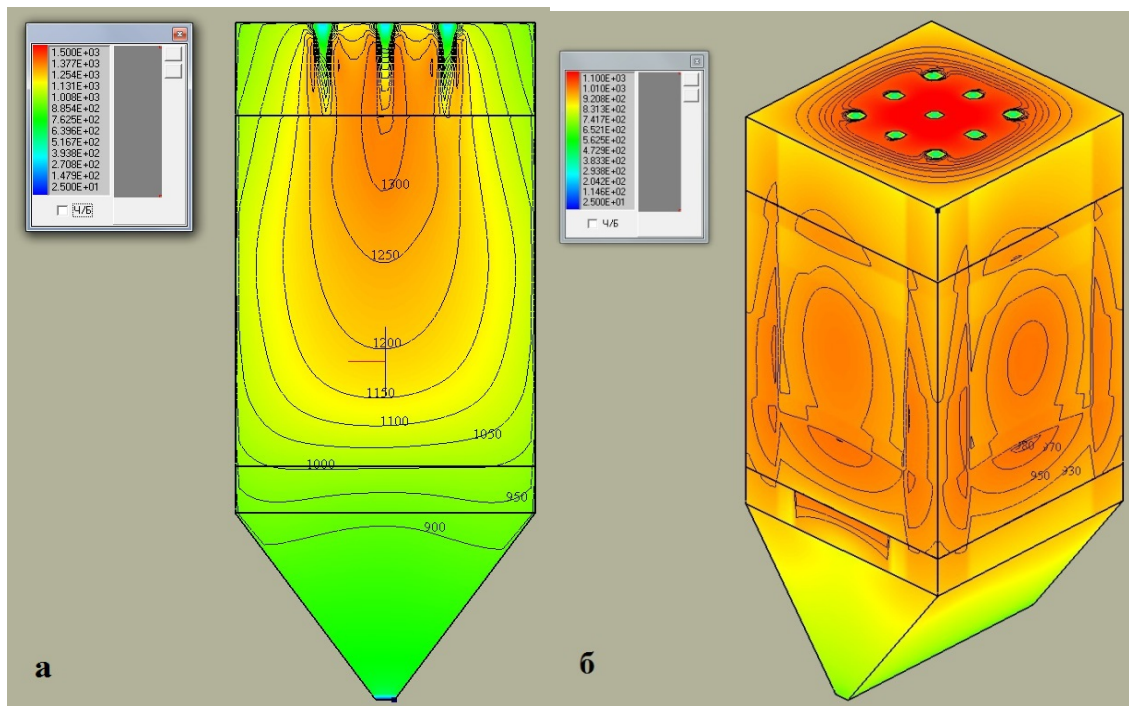


Рис. 2. Поля температур продуктов сгорания (а) и температур стенок поверхностей нагрева (б) в топке воздушного котла

Для достижения данного уровня значений  $\alpha_v$  требуется решить задачу интенсификации внутреннего теплообмена, т.к. при течении воздуха (с рекомендуемыми скоростями 15-25 м/с) в гладких трубах  $\alpha_v=40-60 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Для применения в воздушном котле в итоге был выбран способ с использованием стержневых внутренних вставок, в дальнейшем они могут быть модифицированы элементами, позволяющими осуществлять и турбулизацию потока. В результате расчетных исследований в среде Ansys было определено, что применение вставок типа «крест» и «звезда-8» позволяет добиться уровня значений коэффициента  $\alpha_v=80-150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , что достаточно для поверхностей нагрева топки ВК.

В дальнейшем на стадии опытно-конструкторской разработки котла планируется провести исследования высокотемпературного нагрева воздуха с внутренними вставками различного типа на лабораторной установке, отработать конструкцию высокотемпературной воздухонагревательной панели на испытательном стенде и спроектировать опытно-промышленный ВК для энергоблока 20 МВт. Пока же оценочно можно сказать, что суммарная площадь поверхностей нагрева ВК в 2-2,5 раза выше, чем у стандартного парового котла той же мощности.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ

Васькова Е.О., Матюхин В.И.  
УрФУ, [katya-vaskova@yandex.ru](mailto:katya-vaskova@yandex.ru)

ОАО «Челябинский цинковый завод» занимает ведущее место в обеспечении промышленности металлическим цинком. Переработка окисленных цинко-содержащих материалов во вращающихся трубчатых печах не нова, но в тоже время является привлекательной с точки зрения простоты реализации пирометаллургической стадии производства, однако пониженный тепловой КПД вращающейся печи требует постоянного совершенствования ее конструкции и оптимизации режимных параметров.

Вращающаяся печь № 5 ОАО «ЧЦЗ» для реализации процесса вельцевания представляет собой горизонтально расположенный барабан диаметром до 5 м и длиной до 60 м, наклоненный к горизонту под углом 1-3 градуса и вращающийся со скоростью 0,6-2,0 об./мин. (рис. 1). Исходная шихта, поступающая в рабочее пространство печи по течке, состоит из рудных компонентов (руда, хвосты, промпродукты, шлаки, золы и другие отходы) и кокса, подаваемого с избытком. Гранулометрический состав используемых материалов представлен преимущественно кусками размером менее 10 мм.

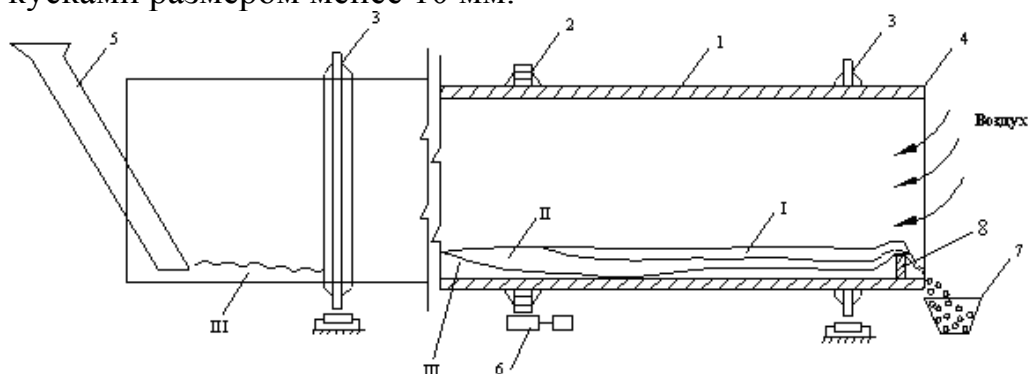


Рис. 1. Схема конструкции вельцпечи:

- 1 – металлический барабан; 2 – венцовая шестерня; 3 – опорный бандаж;  
4 – разгрузочный конец печи; 5 – загрузочная течка; 6 – привод барабана;  
7 – обожженный продукт (клинкер); 8 – разгрузочный порог. I – окислительная зона;  
II – восстановительная зона; III – подготовительная зона

Процесс высокотемпературного углетермического восстановления оксидов цинка с последующим их окислением кислородом топочных газов осуществляется при температурах 1370-1600 °С. В силу теплотехнических и технологических особенностей работы вращающихся печей, максимум температуры в их рабочем пространстве располагается вблизи места поступления воздушного дутья с выделением небольшой зоны охлаждения клинкера. При этом температура выгружаемого твердого продукта находится около 1200 °С. В соответствие с экспериментальными исследованиями тепловой работы вельцпечи было установлено, что образующийся клинкер содержит до 20 % и более остаточного твердого топлива и до 24 % общего железа, которое представлено в основном восстановленными фазами (FeO и металлическим железом). Кроме того, клин-

кер выгружается с температурой до 1200 °С и обладает значительным запасом физического тепла (до 3158,72 кВт, или 11,23 % от общего поступления тепла в печь), что соответствует потерям твердого топлива около 420 кг/ч.

При существующей технологии вельцпроцесса задача охлаждения клинкера решается очень просто. Горячий продукт тепловой обработки твердых материалов во вращающейся печи заливается значительным потоком холодной воды, которая в результате теплообмена с твердыми кусочками и испарения влаги интенсивно отбирает тепло, при этом имеющийся в твердом разгружаемом продукте запас физического тепла практически полностью теряется в окружающей среде.

Наличие восстановленных оксидов железа в клинкере является дополнительным источником тепла, способным существенно снизить энергетические затраты на вельцпроцесс в процессе вторичного окисления. Наилучшим способом утилизации тепла готового продукта является регенерация во вращающемся холодильнике с возвратом части его теплоты непосредственно в рабочее пространство печи в виде физического тепла подогретого воздушного дутья для интенсификации теплообменных процессов.

Предлагаемая схема организации процесса охлаждения клинкера после вельцпечи представлена на рис. 2.

Она состоит из вращающегося холодильного барабана диаметром 1,4 м и длиной 16 м, системы подачи и распыления воды в рабочем пространстве верхней его части, системы уплотнений соединения вельцпечи и охлаждающего барабана, системы распределения воздушного потока, как в охлаждающем барабане, так и в вельцпечи.

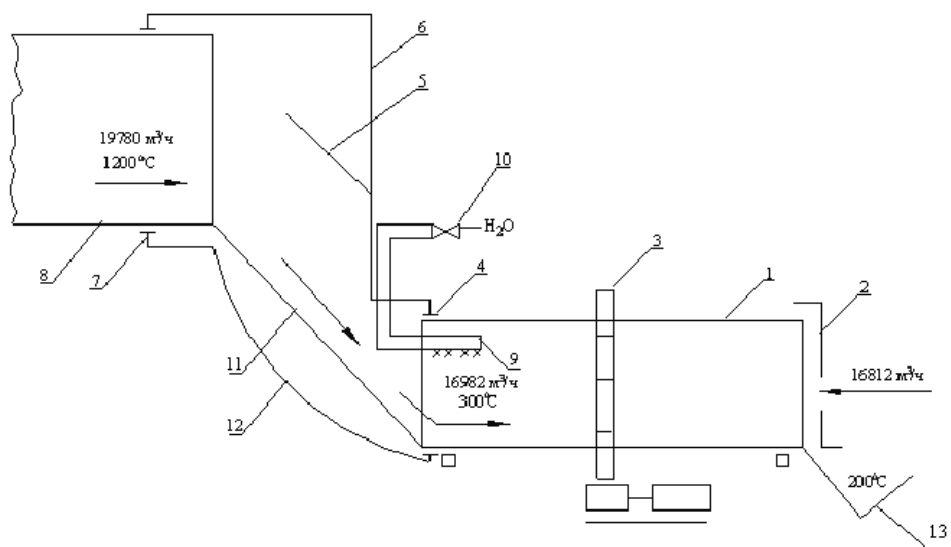


Рис. 2. Схема оборудования для охлаждения клинкера:

- 1 – охладительный барабан; 2 – нижняя головка барабана; 3 – привод; 4 – уплотнительное устройство; 5 – направляющая пластина; 6 – нижняя головка печи; 7 – уплотнение барабана печи; 8 – барабан печи; 9 – система подачи воздуха; 10 – регулировка расхода воды; 11 – разгрузочный лоток; 12 – разгрузочный вертикальный желоб; 13 – бункер охлажденного клинкера



Клинкер в количестве до 10 т/ч с температурой около 1200 °С, пересыпаясь через разгрузочный порог вельцпечи, поступает в разгрузочный вертикальный желоб (11), по которому раскаленный материал подается в рабочее пространство охладительного барабана (1). В начальной части барабана устанавливается система охлаждающих брызгал (9), обеспечивающих подачу холодной воды при помощи регулировочного крана (10). В результате контакта воды и раскаленного материала происходит охлаждение последнего с резким понижением температуры примерно до 700 °С с образованием потока пара.

Дальнейшее снижение температуры клинкера до 200 °С производится холодным воздухом, который засасывается из атмосферы за счет разрежения, создаваемого дымососом вельцпечи.

Холодный воздух, нагреваясь в рабочем пространстве холодильника, проходит через него и насыщается парами воды. Паровоздушная смесь с температурой около 300 °С поступает в рабочее пространство вельцпечи.

По данным расчетов, реализация этой схемы позволит сократить расход топлива до 3000 кг/ч кокса вместо 5320 кг коксика и 670 кг вторичной мелочи. Это связано в основном с более глубоким использованием тепла твердого топлива, созданием условий для развития дополнительных источников экзотермических реакций, значительного использования тепла твердых продуктов (клинкера).

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ОАО «ЕЭСК»**

*Верхозин А.М., Егоров А.О.  
УрФУ, uchia-01@mail.ru, eao@daes.ustu.ru*

В связи с увеличением плотности застройки Екатеринбурга и увеличением электрической нагрузки, постоянно изменяется ландшафт города. Как следствие, увеличивается и плотность кабельных линий электропередачи, уложенных в земле и обеспечивающих электроснабжение потребителей. Постоянныестройки новых зданий ставят задачу создания трёхмерных карт-схем систем электроснабжения кабельных линий. Главная сложность составления таких карт состоит в составлении карт-схем кабельных линий, которые были проложены в городе до 1990-х годов, т. к. в этот период предъявлялись совершенно другие требования к сбору, способам обработки и хранению информации. Таким образом, сложилась ситуация, в которой для обеспечения возможности подключения новых потребителей, для прокладки новых кабельных линий требуется провести геодезические съёмки местности, выявить наличие функционирующих кабельных линий электропередачи, составить карту-схему старых кабельных линий и только потом прорабатывать камеральные планы и инженерные решения по прокладке новых кабелей.

Геодезические съёмки проводятся как до начала строительных работ, так и на последующих этапах строительства зданий и сооружений. Весь этот комплекс работ называется «контроль геосъёмкой». Первоначальные измерения на местности позволяют скорректировать план, выполненный на бумаге, с реаль-

ной строительной площадкой, определить её размер и составить проект строительных работ. Геосъёмка участка в процессе строительства осуществляется для измерений проседания зданий и сооружений. Особенно важны геодезические измерения при строительстве высотных зданий. Их цель – соблюдать изначально заложенные параметры проседания для предотвращения аварийных ситуаций, вплоть до разрушения постройки и разрушения систем электроснабжения. С инженерной точки зрения геодезическая съёмка нужна для определения точной трассы пролегания силового кабеля от точки А к точке Б, а также глубины его залегания на всей протяжённости.

Геодезическая съёмка проводится с помощью приборов высокой точности Ferrophon EL, принцип действия которых основан на явлении электромагнитной индукции. Также, с использованием в приборах Ferrophon специальных зондов, возможна идентификация повреждений в кабелях.

Электронный поиск проложенных в земле линий возможен при условии, что через искомую линию электропередачи (кабель) протекает переменный ток соответствующей частоты и достаточной силы. Применяя специальные зонды, подключаемые к приёмнику, магнитное поле, возникающее при протекании переменного тока, вновь преобразуется в ток зонда. Этот ток оценивается приёмником и затем выводится на индикатор или экран прибора.

Принцип действия прибора изображен на рис. 1. Наиболее точные результаты о местоположении кабеля достигаются только в том случае, когда антенна держится перпендикулярно магнитному потоку. Чем ближе антенна находится к кабелю, тем больший поток проходит сквозь неё, следовательно, тем выше становится наведённое в зонде напряжение и ток. В момент пика своих показаний проводится измерение глубины залегания кабеля, а затем данные наносятся на карту.

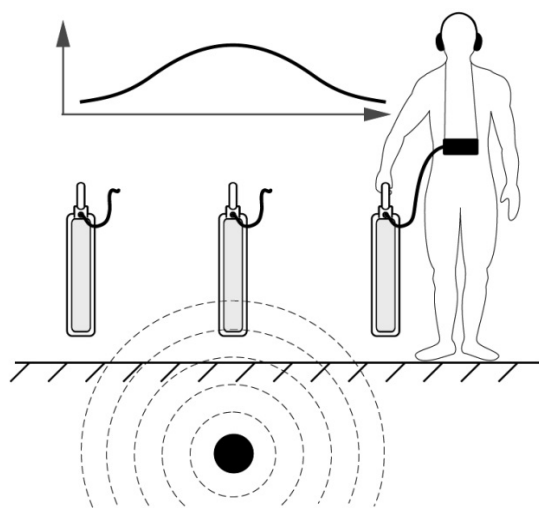


Рис. 1. Принцип действия прибора

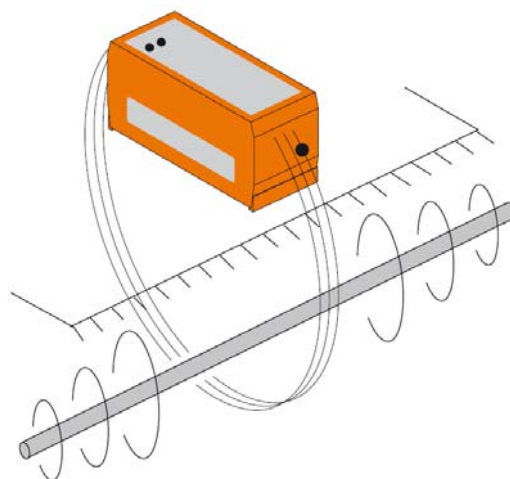


Рис. 2. Активная локализация

Если поблизости имеются другие линии, то их магнитные поля будут накладываться на магнитное поле искомого кабеля. Для устранения этой проблемы в приборе установлен генератор, который генерирует ток высокой частоты

по исследуемому кабелю (Ferrophon G1/G2), а прибор настроен именно на заданную частоту генератора, и таким образом на показания не будут влиять магнитные поля от других линий. Такой способ поиска кабелей называют «активной локализацией» (рис. 2), то есть поиск кабеля проводится при активном вмешательстве человека в магнитное поле кабельной линии. Метод поиска кабеля без использования генератора тока высокой частоты называется «пассивная локализация».

Таким образом, проведя несколько измерений, можно получить достаточно точный путь и глубину пролегания кабеля под землей. Главной задачей пассивной или активной локализаций является изготовление объёмных (3D) кабельных карт-схем, которые наглядно отображают все городские подземные коммуникации, кабельные линии, водопроводы, газопроводы, коллекторы и другие объекты, которые находятся под землей. Трёхмерные карты, составленные по итогам геодезических съёмок с использованием пассивной или активной локализаций, позволяют разработать камеральные планы, обеспечивающие минимальные затраты на строительство новых линий электропередачи и обеспечить минимальные затраты на транспорт электрической энергии.

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ СО СФЕРИЧЕСКИМИ ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ ТЕПЛООБМЕНА**

*Ветлов Е.С., Колпаков А.С.  
УрФУ, Vetlov66@rambler.ru*

Теплообменные аппараты – важнейший элемент промышленной теплоэнергетики. Их технические показатели влияют на экономию энергоресурсов, поэтому разработка способов повышения энергоэффективности оборудования является актуальной задачей. Самый дешевый и технологически простой способ повышения эффективности – использование интенсификаторов теплоотдачи.

Главное преимущество поверхностных интенсификаторов теплоотдачи заключается в том, что они усиливают теплообмен непосредственно около стенки за счет турбулизации потока жидкости с помощью отрыва потока от стенки и характеризуются минимальным ростом затрат на преодоление гидравлического сопротивления установки. Интенсификация теплообмена имеет значение лишь при условии малых затрат мощности на перемещение теплоносителя. Обычно повышение эффективности теплообмена на 30 % приводит к повышению гидравлического сопротивления более чем на 40 %. Именно рост гидравлического сопротивления с увеличением теплоотдачи существенно уменьшает эффективность применения интенсификаторов.

Наиболее интересные результаты отмечаются при использовании интенсификаторов в виде сферических выемок в поверхности теплообмена. В ряде работ было установлено, что рост теплоотдачи в таких выемках не сопровождается значительным увеличением гидравлического сопротивления.

Описанные результаты требуют развернутого экспериментального подтверждения, поскольку находятся в противоречии с известной аналогией Рейнольдса, согласно которой «с ростом потока массы пропорционально возрастет величина теплового потока, однако сопротивление трения повышается пропорционально квадрату скорости».

#### *Библиографический список*

1. Гортышов Ю.Ф. Теплоотдача и трение на поверхности со сферическими выемками / Ю.Ф. Гортышов, В.В. Олимпиев, И.А. Федотов // Изв. ВУЗов. Авиационная техника. 1996. № 3. С. 16-21.

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭМАЛИ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Ворошилова И.Г., Лазуткина О.Р., Фарафонтова Е.П.  
УрФУ*

Работа посвящена улучшению эксплуатационных свойств готовых силикатных покрытий, путем введения в состав эмалевого шликера добавок оксидов, изменяющих фазовый состав, микроструктуру, свойства эмалей и эмалевых покрытий. Исследовано влияние на механические свойства эмалевых покрытий введения в состав базовой эмали добавок оксидов переходных металлов в пределах 0,5-2 %.

В качестве базового состава была взята эмаль марки С-100 с высокой химической стойкостью и достаточной технологичностью. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Влияние добавок термостойких оксидов на свойства эмалевых покрытий

| Наименование эмали (№ обр.) | Добавки, мас. %                  | Модуль упругости Е, мН/м <sup>2</sup> | Прочность на изгиб, мН/м <sup>2</sup> | Температура обжига, °С | Химическая устойчивость, % |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| С-100                       | -                                | 76600                                 | 280                                   | 880                    | 0,28                       |
| 10                          | 2 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 91000                                 | 244                                   | 923                    | 5,09                       |
| 25                          | 2 MoO <sub>3</sub>               | 79400                                 | 313                                   | 870                    | 2,50                       |
| 28                          | 2 ZrO <sub>2</sub>               | 93500                                 | 245                                   | 853                    | 0,40                       |
| 29                          | 2 SnO <sub>2</sub>               | 74000                                 | 250                                   | 830                    | 0,30                       |
| 30                          | 2 ZnO                            | 69000                                 | 200                                   | 835                    | 0,23                       |

Исследования эмалей с различными добавками в определенных диапазонах (от 0,5 до 2,0 мас. %) свидетельствуют о возможности повышения химической и механической прочности эмалевых покрытий. В мельничный состав вводили малые добавки оксидов CaO, MgO, ZnO, SiO<sub>2</sub>, ZrO, SnO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> 0,5-3,0 % массы и изучали их влияние на фазовый состав и свойства покрытия, результаты приведены в табл. 2.

## Свойства покрытия

| Содержание оксидов, % |                  |                  |                  |      |      |      | Свойства покрытия   |                           |  |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------|------|------|---------------------|---------------------------|--|
| SiO <sub>2</sub>      | ZrO <sub>2</sub> | CeO <sub>2</sub> | SnO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | ZnO  | Термо-стойкость, °С | Прочность при ударе, кг/м | Химическая стойкость, мг/см <sup>2</sup> |
| -                     | 0,50             | -                | -                | 2,00 | 0,50 | 1,00 | 400                 | 0,9                       | 0,57                                     |
| -                     | 0,50             | 0,5              | 0,50             | 2,00 | 0,50 | 1,00 | 440                 | 0,8                       | 0,50                                     |
| -                     | 0,25             | 0,15             | 0,15             | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 470                 | 0,8-1,0                   | 0,31                                     |
| 1,0                   | 0,50             |                  | 0,25             | -    | -    |      | 510-530             | 1,2                       | 0,34                                     |

Установлено, что добавки оксидов избирательно влияют на свойства и фазовый состав силикатно-эмалевого покрытия при введении их в состав шликера. При совместном введении оксидов наибольший эффект достигается при их суммарном содержании не более 1-2 %.

Широкие возможности регулирования структуры эмалевого покрытия и, тем самым, его свойств, открываются при модифицировании его контролируемые добавками. Так введение энтеровалентных добавок поверхностно-активных оксидов WO<sub>3</sub>, WO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в высококремнеземистые эмали системы Li<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O-CaO-SiO<sub>2</sub> приводит при достаточном их количестве к стабилизации в широком интервале температур высокотемпературной кубической фазы.

В ходе исследований, проводившихся в данной работе, установлено, что увеличение скорости формирования покрытия, снижение температуры и продолжительности достигается при использовании порошков (оксидов), измельченных при помоле до размера частиц менее микрона, т.е. находиться в нанометровом диапазоне. Порошки поверхностно-активных веществ вводили в основной состав эмалей в количестве от  $5,7$  до  $34,2 \cdot 10^{-3}$  мольных долей сверх 100 в.ч.

Эксперименты показали, прочность на удар и термическая стойкость покрытия экстремально растет с увеличением количества WO<sub>2</sub>, Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Для WO<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> только при добавке в небольших количествах ( $5,7 \cdot 10^{-3}$  мольной доли). Дальнейшее увеличение их содержания приводит к усилению кристаллизации и значительно ухудшает разлив покрытия.

Широкие возможности регулирования структуры эмалевого покрытия и, тем самым, его свойств, открываются при введении в состав шликера контролируемых добавок, это позволяет разрабатывать и внедрять инновационные специальные защитные покрытия для различных отраслей промышленности.

Расширение сферы применения эмалированных изделий выдвинуло дополнительные требования к качеству эмалей и их эксплуатационным характеристикам. Для эмалирования изделий технического назначения должны применяться специальные эмали с повышенной химической стойкостью механической прочностью на истирание, прочностью сцепления со сталью, обладающие также повышенной эластичностью и прочностью при изгибе. Получить защитные покрытия с данными эксплуатационными свойствами удалось, используя

модифицированные эмали нового поколения, разработанные специалистами УрФУ совместно со специалистами ЗАО «Ставан-Комплекс».

Таким образом, предлагаемые в данной работе составы для защиты магистральных трубопроводов эмалевыми покрытиями позволяют значительно снизить энергозатраты при эксплуатации и обслуживании за счет снижения аварийности трубопроводов. Это дает возможность (при сохранении важнейших преимуществ металла – технологичности и механической прочности) придать трубопроводам новые характеристики, обусловленные свойствами специальных силикатных эмалей: стойкость всем видам коррозии, твердость и гладкость поверхности, высокая гигиеничность.

## **РАЗРАБОТКА ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ФОРСУНКИ ДЛЯ ГРАНУЛЯЦИИ ПЕРКАРБОНАТА НАТРИЯ В АППАРАТЕ КИПЯЩЕГО СЛОЯ**

*Втюрин М.А., Никулин В.А.  
УрФУ*

На ОАО «Перкарбонат» (г. Новочебоксарск) получают перкарбонат натрия в реакторе. Реакция мгновенная с образованием кристаллов из карбоната натрия. Полученный продукт направляют в сушку в аппарат кипящего слоя (КС).

Существующая на предприятии схема подачи реагентов и транспорта продуктов реакции в аппарат КС, из-за быстрой кристаллизации и забивания транспортирующих материал устройств, является препятствием для дальнейшего повышения производительности сушильной установки.

С целью дальнейшего повышения производительности установки сушки для перкарбоната разработан и изготовлен опытный образец двухкомпонентной форсунки для подачи реагентов в аппарат КС.

Предложена принципиально новая технология получения продукта, когда реагенты по отдельности распыляются в двухкомпонентной форсунке до заданных расходов над кипящим слоем, и реакция перкарбоната натрия проходит на поверхности взвешенных в кипящем слое частиц с получением продукта преимущественно заданного дисперсного состава.

Основные параметры разработанной двухкомпонентной форсунки получены на лабораторном стенде, созданном на кафедре МАХП ХТИ УрФУ. В июне 2013 г. проведены промышленные испытания на рабочих средах в аппарате КС предприятия ОАО «Перкарбонат».

Данная форсунка очень эффективна, т. к. она одна заменяет два громоздких смесителя. Для её работы требуется только сжатый воздух, в отличие от смесителей, для которых нужны значительные затраты электрической энергии. Также с помощью данной форсунки удалось получить более качественный продукт, чем продукт, получаемый в смесителях.

Принято решение об опытно-промышленном внедрении новой технологии получения перкарбоната натрия на одной из сушилок КС.

## КОНСТРУКТОР ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Вяткина М.В., Тавлинцев А.С., Тренина Е.М., Ерошенко С.А., Егоров А.О.  
УрФУ, vjatkina@rambler.ru, stas\_ersh@mail.ru, eao@daes.ustu.ru*

В настоящее время обучение студентов, специалистов и персонала для нужд электроэнергетической отрасли крайне неэффективно, несёт значительные финансовые и временные затраты. По причине удалённости объектов электроэнергетики, ограниченного доступа и численности рабочей группы, по условиям техники безопасности, допуск к реальным объектам и оборудованию имеет узкоограниченный круг людей – как правило, это оперативный персонал предприятия, обслуживающего энергообъект или руководство предприятия.

Основное обучение студентов, специалистов и персонала методам проектирования монтажа и инжиниринговых работ выполняется по технологии формата плоских (2D) чертежей на бумажном или электронном носителе или в лучшем случае в формате современных 3D CAD-систем.

Основными проблемами, которые возникают при такой постановке образовательного процесса являются:

1. Отсутствие материального оснащения и обеспечения образовательных процессов;
2. Отсутствие конструкторской деятельности в образовательном процессе;
3. Отсутствие навыков и умений у студентов чтения проектных и сборочных чертежей;
4. Незнание студентами материальной части энергосистем, проблем конструирования, проектирования, производства, обслуживания и эксплуатации оборудования.

Все эти проблемы приводят, в конечном счёте, к низкому уровню качества и престижа инженерно-технического образования и к низкому уровню подготовки специалистов в части практической деятельности.

Для решения указанных проблем и кардинального пересмотра образовательного процесса на кафедре АЭС УралЭНИН УрФУ ведётся разработка материального конструктора электроэнергетических систем, основанного на методах и технологиях масштабного моделирования.

Продукт (конструктор электроэнергетических систем) предназначен для обучения, проектирования, инжиниринга и деловых игр. Высокотехнологичные и наукоёмкие технологии, реализуемые в методах масштабного моделирования, позволяют воспроизвести любое силовое и вторичное оборудование электроэнергетических систем с высокой точностью и детализацией.

Конструктор также является элементной базой для выполнения макетов любых схем распределительных устройств всех классов напряжения электрических станций и подстанций и позволяет также выполнять макеты любой сложности всего комплекса тепло и электротехнического оборудования, применяемого на любых энергообъектах.

Новейшие образовательные технологии будут внедрены на кафедре АЭС УралЭНИН УрФУ в образовательный процесс дисциплин:

1. Электромеханика;
2. Электрические аппараты;
3. Оборудование электрических станций и подстанций;
4. Проектирование электрической части станций и подстанций;
5. САПР энергооборудования;
6. Иностранный язык (для изучения профессиональных иностранных языков студентами в игровой и тренинговой формах).

Разработки также будут внедрены в систему довузовской подготовки на кафедре АЭС УралЭНИН УрФУ.

Новая постановка образовательного процесса при внедрении должна привести к эффектам выработки у студентов навыков и формированию культуры производства, культуры конструирования и проектирования, бережливого производства, повышению успеваемости студентов, повышению престижа и качества энергетического инженерного образования. Позволит также развить у студентов ответственность за личный и коллективный результат труда, позволит изменить подход к проектированию и сделать его искусством, что, в конечном счёте, отразится на качестве проектных работ и позволит устранять значительное количество ошибок ещё на стадии до реализации проекта.

С одной стороны, новые образовательные технологии, разработанные на кафедре АЭС УралЭНИН УрФУ, позволят повысить уровень подготовки выпускников, а с другой продвинуть УрФУ как обладателя уникальной образовательной наукоёмкой и высокотехнологичной образовательной технологии.

Проект «конструктор электроэнергетических систем» стал победителем всероссийского конкурса наукоёмких и инновационных проектов и разработок в сфере умной энергетики «Энергопрорыв-2013». План реализации проекта представлен и награждён 20 июня 2013 г., на Международном экономическом форуме в г. Санкт-Петербург (ПМЭФ-2013).

## **ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕРМОСИФОНА РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА**

*Гадельшин В.М., Окладной Е.Е., Гадельшин М.Ш.  
УрФУ, gadelshinvm@mail.ru*

Одним из основных инструментов, используемых при реализации государственной программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности отечественной промышленности, является внедрение и применение систем рекуперации тепла на производстве. В этих системах рекуперативного теплообмена для утилизации теплоты сбросных потоков горячих газов с успехом применяются термосифоны с промежуточным теплоносителем. Важным преимуществом их применения является то, что разгерметизация отдель-



ных термосифонов не приводит к прямому контакту теплообменивающихся сред [1].

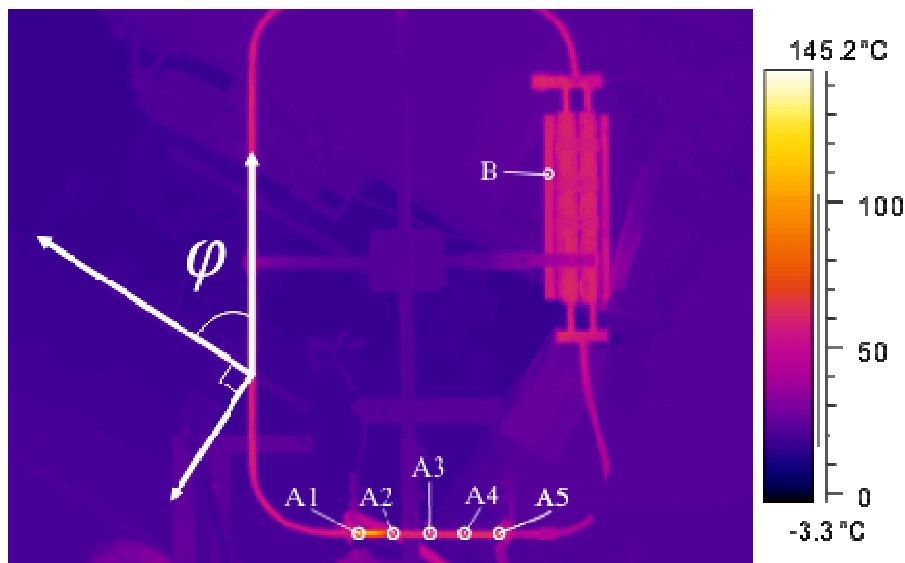


Рис. 1. Тепловизионное изображение функционирующего термосифона при наклоне на угол  $\phi = 56^\circ$  и при плотности теплового потока  $q = 1,5 \text{ Вт/м}^2$ ;  $A_i, B$  – точки, в которых измерялись значения температуры испарителя и конденсатора при различных углах наклона

В данной работе представлены результаты исследования работоспособности двухфазного контурного термосифона при различных отклонениях от вертикального положения. Для измерений использована новая методика исследования работоспособности термосифона с применением тепловизора (рис. 1); в этой методике принципиален выбор способа подачи тепла в зону испарения. Применение тепловизора для исследования теплопередающей способности термосифона будет эффективным, если осуществлять подвод тепла посредством организации контролируемого электрического тока по корпусу термосифона в зоне испарения.

Как результат, продемонстрирована высокая эффективность применения тепловизионного метода для исследования работоспособности термосифона. Использование тепловизора позволяет определить распределение температуры вдоль корпуса термосифона без каких-либо дополнительных приспособлений. Необходимо отметить, что, как и следовало ожидать, термосифон наилучшим образом функционирует при малых углах наклона до  $20^\circ$ . При отклонениях более  $50^\circ$  перепад давлений, обеспечивающий движение теплоносителя в испарителе, уменьшается, что приводит к уменьшению теплопередающей способности и, как следствие, к снижению работоспособности всей системы рекуперативного теплообмена (рис. 2).

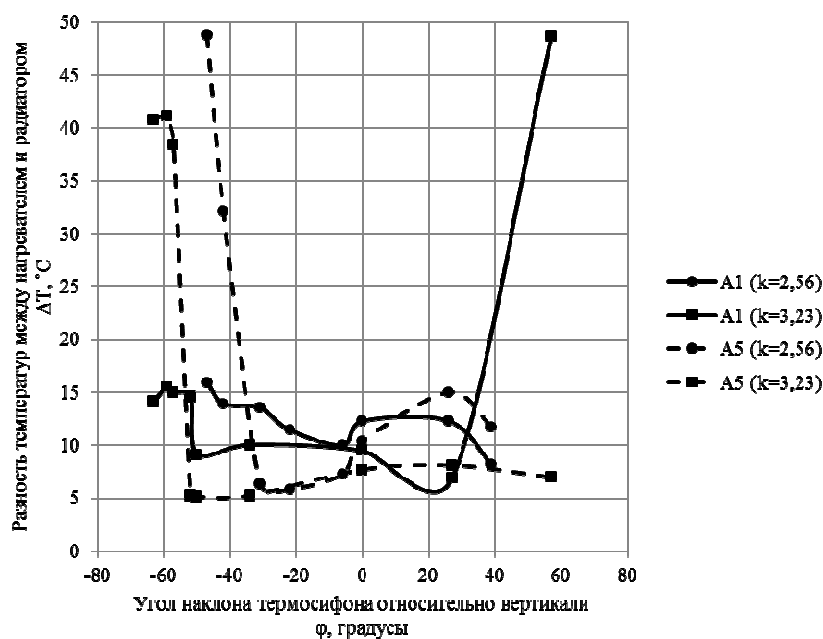


Рис. 2. Сравнение распределения температуры в крайних точках испарителя для разных объемов  $k$  заправленного теплоносителя, при плотности теплового потока  $q=1,5 \text{ Вт/м}^2$

#### Библиографический список

1. Пиоро Л.С., Пиоро И.Л. Двухфазные термосифоны и их применение в промышленности / Л.С. Пиоро. Киев: Наукова думка, 1988. 135 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ С ЦЕЛЮ УМЕНЬШЕНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Горбунева Е.С., Понаморов М.М., Мурзадеров А.В., Картавцев С.В.

Магнитогорский государственный технический университет

[ponamoremikhail@mail.ru](mailto:ponamoremikhail@mail.ru); [murzaderov1994@mail.ru](mailto:murzaderov1994@mail.ru); [kartavzw@mail.ru](mailto:kartavzw@mail.ru)

На российских промышленных предприятиях остро стоит проблема о снижении расхода природного газа и его рациональном использовании. Современная промышленность заинтересована в поисках решений этой проблемы. Одним из этих решений является регенерация безвозвратно теряемой теплоты, так как существует ряд установок, в которых температура дымовых газов около  $1000^\circ\text{C}$  и выше. Термохимическая регенерация в ряде случаев способна дать существенно больший энергосберегающий эффект, чем термическая регенерация. Тепловые параметры высокотемпературных теплотехнологических установок приведены в таблице.

| Тип установки                    | Температура дымовых газов, $^\circ\text{C}$ |
|----------------------------------|---|
| Кузнечные камерные печи          | 1100-1200                                   |
| Методические нагревательные печи | 900-1100                                    |
| Стекловаренные печи              | 1200-1350                                   |

Наиболее масштабными процессами являются нагрев металла в методических нагревательных печах, производство стекла и т.д.

Высокотемпературные установки (ВТУ) такие, как стекловаренные печи, характеризуются не только своим интенсивным энергопотреблением, но также выбросом горячих дымовых газов и низкой утилизацией энергии топлива. Вследствие этого были созданы энергосберегающие системы, основанные на термохимической регенерации (ТХР).

Для стекольной промышленности характерны высокие капитальные затраты, материало- и энергоемкость. На производство стекольного комплекса расходуется 7,9 % топлива, 13 % электроэнергии от общего потребления в промышленности, 21 % сырья и материальных ресурсов от общего их потребления в стране [1].

Крупные предприятия по выпуску стекла, например такие, как «Саратовстройстекло», «Салаватстекло» выпускают ежедневно до 1100 т продукции с высокой энергоемкостью. На производство стекла требуется природный газ до 200 м<sup>3</sup>/т (в среднем по фактическим отчетным данным 192,2 м<sup>3</sup>/т). При этом температура отходящих газов из рабочего пространства печи может достигать 1300 °С (см. таблица).

В этих условиях эффективным методом сокращения потребления природного газа так же, как и при нагреве металла [2], является химическая регенерация.

Энергосберегающая схема энергообеспечения стекловаренной печи включает в себя реактор паровой конверсии, собственное производство пара и воздушный рекуператор представлена на рисунке.

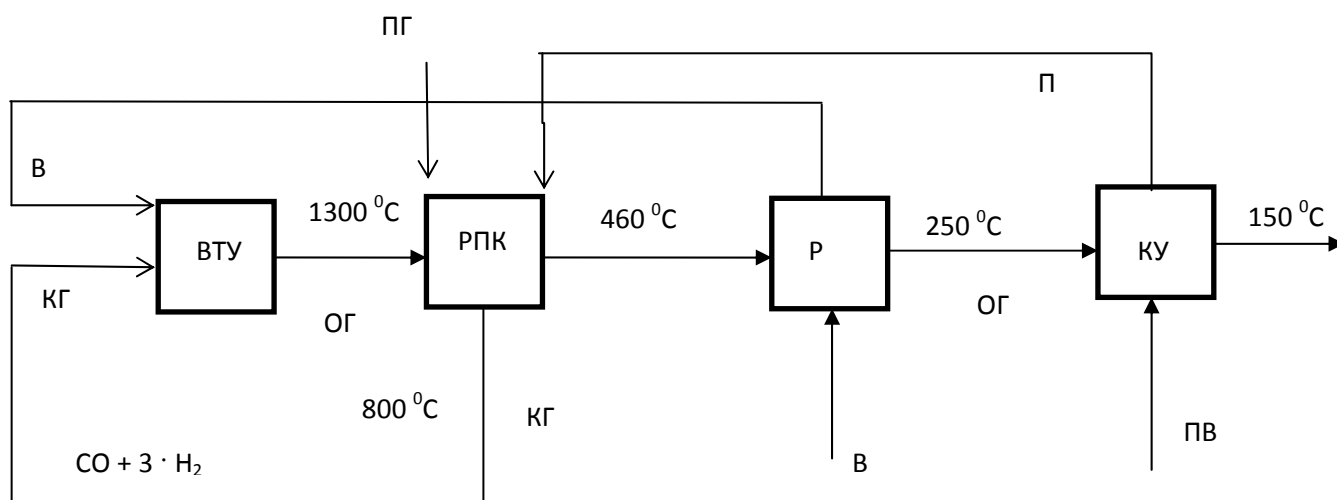


Схема ВТУ с ТХР теплоты отходящих дымовых газов за счет паровой конверсии метана:

ВТУ – высокотемпературная теплотехнологическая установка; РПК – реактор паровой конверсии; ПГ – природный газ; П – пар; ГВ – горячий воздух; КГ – конвертированный газ; ОГ – отходящие газы; Р – рекуператор; КУ – котел утилизатора; ПВ – питательная вода; В – воздух.

Данные по пароводяной конверсии природного газа взяты по [3]. В расчетах схемы определялись температуры газов за каждым теплообменником и полагаемое количество теплоты на каждой стадии теплообмена.

В результате расчетов установлено, что для сохранения теплового режима печи расход природного газа может быть уменьшен до 0,794 от первоначального, то есть на 20,5 %: с 192,2 до 152,6 м<sup>3</sup>/т (на 39,59 м<sup>3</sup>/т).

Таким образом, при годовом производстве предприятия 1100/сут (401 500 т/год), экономия природного газа может достичь 15,89 млн м<sup>3</sup>, что при цене природного газа 2 руб./ м<sup>3</sup> составит величину до 31,79 млн руб.

Химическая регенерация в системе отопления природным газом открывает возможности значительного энергосбережения.

#### *Библиографический список*

1. Летягина Е.Н. Актуальность внедрения энергосберегающих технологий в стекольной промышленности // Промышленная энергетика, 2011, № 12. С. 18-20.
2. Горбунёва Е.С., Понаморов М.М., Мурзадеров А.В. Энергосбережение природного газа в системе химической регенерации / Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 249- 252.
3. Картавец С.В. Природный газ в восстановительной плавке. СВС и ЭХА: Монография. Магнитогорск: МГТУ, 2000. 188 с.

## **ПОДБОР НАСТРОЕЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАГРЕВА С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ВТОРОГО РОДА С ПЕРЕМЕННЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ В ПАКЕТЕ ANSYS**

*Горбунова Е.А., Горбунов В.А.*

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, tevp@tvp.ispu.ru*

При решении задач нагрева в различных САЕ-пакетах, в том числе и в Ansys, возникают проблемы определения величины настроечных коэффициентов (количество шагов по пространству и шагов по времени) при выполнении задач численным методом. Точное аналитическое решение для определения температурного поля при нагреве пластины с переменными теплофизическими свойствами получить достаточно сложно. Поэтому для сравнения влияния настроечных коэффициентов при численном решении задачи нагрева предлагается использовать метод семидискретизации.

Метод численных линий (MOL) используется в программе MathCAD в виде встроенной функции Pdesolve. Он заключается в дискретизации по пространственной координате  $x$ , но остается исходное непрерывное представление для временной переменной [1]. Для повышения точности решения задача решалась в MathCAD с большим количеством шагов по пространству и по времени.

Для дальнейшего анализа влияния настроечных коэффициентов на моделирование нагрева с граничными условиями второго рода с переменными теплофизическими свойствами в пакете Ansys выбран метод на основе нейросетей

с использованием пакета NeuroSolution. Нейронная сеть используется тогда, когда неизвестен точный вид связи между входами и выходами.

Для обучения нейросети в качестве входных параметров используется погрешность вычисления температурных полей на поверхности и в центре пластины, толщина пластины, время нагрева. В качестве выходных параметров является количество шагов по времени, шагов по пространству и время выполнения задачи.

Полученная нейросетевая программа позволяет повысить эффективность расчета температурного поля пластины с заданной точностью.

#### *Библиографический список*

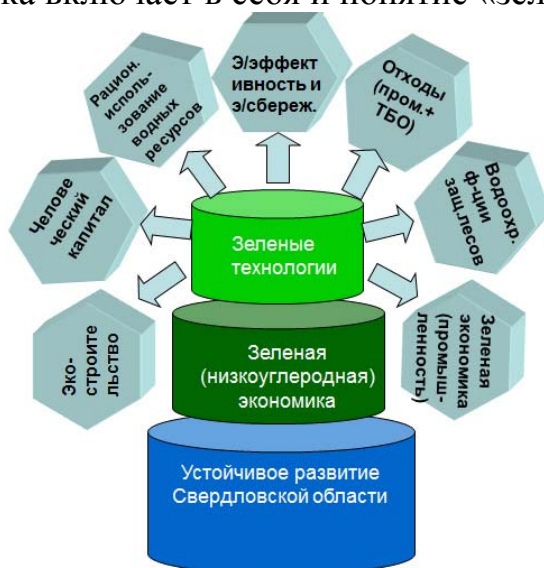
1. Горбунов В.А. Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок. Иваново: ПресСто, 2011.

## **«ЗЕЛЕНАЯ» ЭКОНОМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

*Гордеев Д.А., Ануфриев В.П.*

*УрФУ, Уральский центр энергосбережения и экологии, mail@usee.ru*

Последнее десятилетие мировым сообществом ведется активная научная и практическая работа по экологизации экономики. Термин «экологическая» экономика трансформировался в низкоуглеродную, а затем в «зеленую» экономику. «Зеленая» экономика включает в себя и понятие «зеленой» энергетики.



Взаимосвязь устойчивого развития с «зеленой» экономикой  
и «зелеными» технологиями

**«Зеленая» экономика** – это развитие во всех секторах экономики от промышленности до ЖКХ за счет повышения энергоэффективности при рациональном использовании природных ресурсов (ТЭР, лес, вода и др.), максимально возможной утилизации бытовых и промышленных отходов, необходимости учета углеродного следа и повышении значимости человеческого капитала.

Другими словами, «зеленая» экономика – это экономика, цель которой сохранить и, по возможности, усилить рост и процветание экономики и общества,

не нанося ущерб интересам сохранения окружающей среды, а даже наоборот, поставив их в более выгодное положение. Это также попытка уточнить и наполнить конкретикой не бесспорный термин «устойчивое развитие». На рисунке представлено авторское видение связи устойчивого развития, инструмента его реализации – «зеленой» экономики, за счет применения «зеленых» технологий [1].

**«Зеленый» рынок** – это рынок товаров и услуг экологического назначения, то есть такого, чьей задачей является распространение «зеленых» технологий в отраслях экономики. По существу, это лишь отрасль, создающая необходимую инфраструктуру для перевода экономики на «зеленые рельсы».

Перспективы продвижения «зеленого» рынка:

- Резкий рост спроса (а, значит, и инвестиций) на исследования в области «зеленых» технологий и методов ведения любой хозяйственной деятельности.

- Постепенное увеличение продолжительности жизни в связи со снижением экологического загрязнения планеты и резким скачком знаний о жизни.

- Необходимость подготовки специалистов в сфере «зеленой» экономики всех уровней, готовых работать в масштабе шестого экологического уклада и будущих экологических, климатических, энергетических и экономических вызовах.

- Безальтернативность, актуальность и новизна «зеленой» экономики такова, что делает ее блестящим полем для научных исследований (защиты дипломных работ, магистерских и кандидатских диссертаций в области экономики, энергетики, экологии и смежных специальностей).

- Постепенное изменение культуры. Чтобы дойти до этапа «зеленого» общества, люди будут вынуждены сделать выбор между ответственностью и безответственностью, взглядом на перспективу и сиюминутным благополучием, которое готов предложить рынок, выбором правильных решений и тех, что приятнее.

**«Зеленое» производство.** Мир находится на пороге шестого технологического уклада, и зеленая экономика удачно вписывается в него. Шестой технологический уклад будет характеризоваться развитием робототехники, биотехнологий, нанотехнологии, систем искусственного интеллекта, глобальных информационных сетей, интегрированных высокоскоростных транспортных систем [2]. В рамках шестого технологического уклада дальнейшее развитие получит снижение материалоемкости, энергоемкости и углеродоемкости продукции и услуг. Каждый технологический уклад (ТУ), по академику Глазьеву С.В., характеризуется (реализуется) ведущим энергоресурсом и соответствующими технологиями его использования. Шестой ТУ будет, по-видимому, использовать природный газ и оставшиеся углеводороды, ВИЭ, и следует ожидать прорывных технологий в энергетике. Например, психическая энергия человека [3]. Мы даже не заметили, как за счет своей энергетики стали управлять электронными бытовыми приборами – смартфонами, дисплеями ПК и телевизионными экранами.

В «зеленом» производстве найдут наиболее полное использование так называемые безотходные технологии. Безотходная технология – это такой способ производства продукции, при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле «сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные ресурсы» таким образом, чтобы любые воздействия на окружающую среду не нарушали ее нормального функционирования [4].

В случае безотходного производства, абстрагируясь от теоретического определения, мы получаем кумулятивный эффект – непрерывная цикличность вещества порождает экономию в номенклатуре сырья, потребного для производства, тем самым не допуская его утечки в окружающую среду.

Примеры реальных шагов к технологиям «озеленения» существующих технологических процессов:

–Металлургическое предприятие «Днепросталь» (Инвестиционный проект *Interpipe*). Это пример «зеленой» металлургии – отрасли материаловедения, разрабатывающие технологии, методы и приемы металлообработки, в процессе которой не возникает отходов, либо эти отходы возвращаются в производственный процесс. Особенность – в использовании электросталеплавильного способа производства металлов в сочетании с передовыми технологиями очистки отходов, воздуха и загрязненной воды [5].

–Компания «Рисилика» в 2012 г. запустила на территории столичного технопарка «Технополис «Москвич» укрупненную опытно-лабораторную технологическую линию для отработки технологии производства аморфного диоксида кремния из рисовой шелухи. Полученный продукт широко используется в химии тонких технологий для фармацевтики, косметической, лакокрасочной промышленности, производства силиконовых резин, герметиков, смазок и композитных материалов. Технологии «Рисилики» относятся к направлению «зеленой химии» (*green chemistry*) и позволяют выпускать экологически чистую продукцию из неиспользуемых ныне отходов сельского хозяйства [6].

Сегодня в реализацию «зеленой» экономики включились такие государства как Китай, Тайвань, Южная Корея, Япония, Индия, Бразилия, Аргентина, Канада, США, Страны Европейского союза, Австралия, Новая Зеландия, Исландия, Южная Африка, Бангладеш, Малайзия, Таиланд, Россия, Республика Казахстан и многие другие страны.

В заключение хотелось бы отметить, что движение к «зеленому» миру невозможно без выращивания компетентных специалистов (человеческого капитала), осознающего необходимость экологических перемен, и интегрирования со сложившимися энергетическими и промышленными системами, с целью их экологической рационализации.

#### *Библиографический список*

1. Ануфриев В.П. Возможности зеленой низкоуглеродной экономики на региональном уровне // Тезисы докладов на Саммите LCES-2013 (The 3-rd Low-Carbon Earth Summit – 2013). Китай, 26-28 сентября 2013 г. С. 149.
2. Прохоров И.А. Начало 7-го технологического уклада [Электронный ресурс] URL: <http://www.energoinform.org/pointofview/prohorov/7-tech-structure.aspx>.
3. Безотходные производства [Электронный ресурс] URL: <http://prom-ecologi.ru/?p=755>.

4. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энциклопедия энергосбережения. Екатеринбург: ИД «Сократ», 2004. С. 7.
5. Николай Лисицын. Прощай, мартен! Дорогу чистым технологиям! [Электронный ресурс] URL: <http://www.interpipe.biz/ru/press/pressabout/680.html>
6. «Рисилика» запустила производство «зеленой химии» [Электронный ресурс] URL: <http://www.nanonewsnet.ru/news/2012/zagolovok-press-reliza-risilika-zapustila-proizvodstvo-zelenoi-khimii>.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ УГОЛЬНОЙ ПГУ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕМ**

*Гордеев С.И., Рыжков А.Ф.  
УрФУ, [tes.urfu@mail.ru](mailto:tes.urfu@mail.ru)*

Модернизация национальной экономики ставит сложные задачи по созданию парка технологий эффективного использования органического топлива для производства энергии. Перспективная ориентация мировой энергетики на твёрдое топливо, в том числе на местное низкосортное, определяет необходимость решения ряда проблем, связанных с его сжиганием:

- повышение эффективности угольной (твёрдотопливной) энергетики – КПД нетто станции;
- снижение выбросов вредных веществ, в том числе парниковых газов.

Из двух параллельно развивающихся в настоящее время направлений модернизации энергетики на твёрдом топливе: классического – паровой цикл на суперсверхкритические параметры пара, и альтернативного – парогазовый цикл с термохимической подготовкой топлива перед ГТУ, второе является более универсальным, так как, помимо решения экологических проблем, открывает возможность реализации энерготехнологии (полигенерации).

Использование парогазовой технологии на твердом, основанной на более термодинамически эффективном цикле Брайтона-Ренкина, заложено в Энергетической стратегии России на период до 2030 г. На сегодняшний день работающие ПГУ на угле едва дотягивают по энергетической эффективности современных угольных паросиловых энергоблоков. Отставание обусловлено дороговизной получения кислорода, необходимого для проведения процесса газификации, а также неоптимальной тепловой схемой установок, связанной с необходимостью очистки топливного газа перед ГТУ. В настоящий момент ведутся разработки, позволяющие сократить отставание твердотопливных ПГУ от газотопливных.

Одной из таких разработок является разработка ИЦЭУ-УрФУ [1], основанная на двухступенчатом нагреве рабочего тела для ГТУ. Были проведены расчетные исследования данной ПГУ, задачей которых было выявление оптимального способа интеграции узла подготовки рабочего тела (УПТ) ГТУ в тепловую схему ПГУ. В УПТ входят: узел конверсии твердого топлива, система газоохлаждения и газоочистки топливного газа, узел высокотемпературного нагрева циклового воздуха (воздушный котел), камера сгорания.



Для решения поставленной задачи было проведено поэтапное исследование влияния следующих параметров схемы:

- температуры нагрева циклового воздуха (1 этап);
- компоновки паровоздушного котла (2 этап);
- типа газоочистки (3 этап).

Результаты исследования сгруппированы и образуют матрицу возможных способов интеграции УПТ в тепловую схему ПГУ:

- 1) Пиролизная ПГУ – А0 (прототип);
- 2) Пиролизная ПГУ модифицированная в вариантах – А1.1 и А1.2;
- 3) Газогенераторная ПГУ – Б0;
- 4) Газогенераторная ПГУ – Б1;
- 5) Газогенераторная ПГУ – Б2;
- 6) ПГУ-IGCC на достигнутые параметры газопаротурбинного оборудования.

Исходным вариантом для проводимых расчетов служит технологическая схема двухтопливной ПГУ А0. Модифицированные схемы пиролизной ПГУ отличаются от прототипа режимом в реакторе конверсии и типом газоочистки: А1.1 – холодная газоочистка с утилизацией физического тепла синтез-газа в паровом цикле, А1.2 – горячая газоочистка. Варианты газогенераторной схемы сочетают следующие типы компоновок: Б0 – ПГУ с холодной газоочисткой с достигнутыми параметрами газопаротурбинного оборудования, Б1 – то же что и Б0 только с горячей газоочисткой, Б2 – ПГУ на перспективные параметры оборудования с горячей газоочисткой. В ходе работы рассмотрены вариации, связанные с изменением температуры нагрева циклового воздуха, а также развитие схемы, реализуемое путем изменения компоновки поверхностей нагрева воздушного котла, дополнительно рассмотрено влияние типа газоочистки на КПД схемы. Для каждого этапа исследования была создана модель технологической схемы, соответствующая одному из вариантов матрицы исследования.

По результатам 1 этапа были получены следующие результаты: при повышении температуры нагрева циклового воздуха в воздушном котле с 800 до 1000 °С при неизменности остальных параметров схемы изменяется степень бинарности установки, что приводит к снижению КПД брутто установки, но вместе с тем наблюдается увеличение КПД нетто, обусловленное уменьшением нагрузки на узел конверсии топлива; для обеспечения более высокого КПД необходимо оптимизировать компоновку воздушного котла.

Для изучения влияния компоновки поверхностей нагрева воздушного котла была создана новая модель общей технологической схемы ПГУ. Были рассмотрены 3 вида компоновок воздушного котла:

- 1) с пароводяной частью в топочной камере. Особенностью данной компоновки служит использование пароводяных поверхностей для снятия избыточной по условиям надежной работы воздухонагревателя температуры;
- 2) с использованием рециркуляции дымовых газов. Вместо пароводяных поверхностей в топку осуществляется рециркуляция дымовых газов из конвективной шахты;

3) «чисто» воздушный котел. Данная компоновка отражает развитие материалов для воздухонагревателя. Совместно с отказом от рециркуляции дымовых газов температура нагрева воздуха повышается с 800 (в предыдущих компоновках) до 1000 °С.

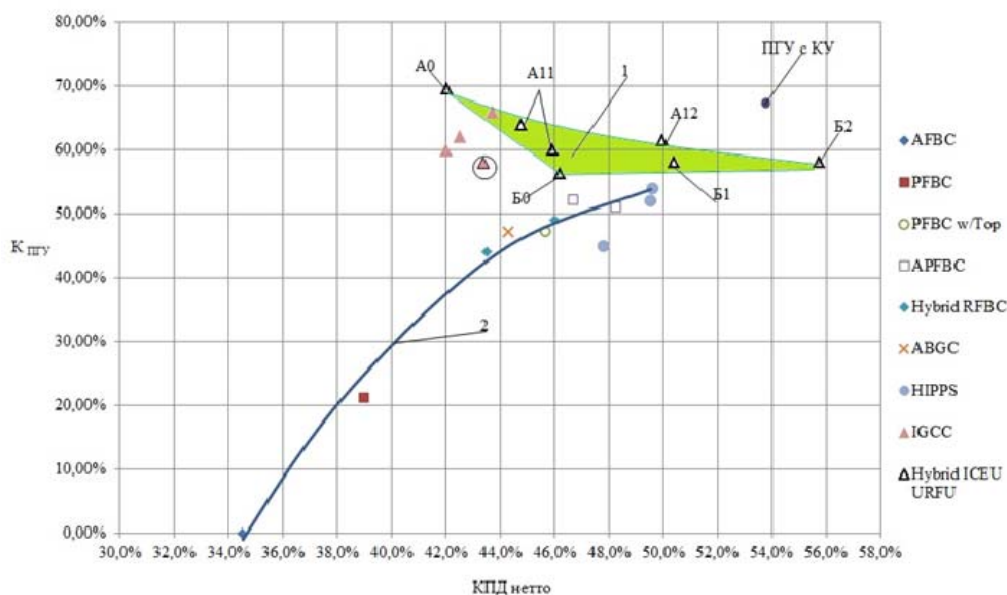
По результатам расчета были указаны области применимости компоновок. Наиболее применимым вариантом для достигнутых параметров является компоновка воздушного котла с использованием рециркуляции дымовых газов, для перспективных параметров – вариант полностью воздушного котла обеспечивает потребности схемы в высоконагретом воздухе.

Для исследования влияния типа газоочистки на экономичность схемы рассмотрены 3 компоновки ПГУ:

- 1) с квенчингом (А0);
- 2) с холодной газоочисткой (А11 и Б0);
- 3) с горячей газоочисткой (А12 и Б1).

Схема ПГУ с водяным квенчингом (А0) по энергетической эффективности находится на уровне угольных паросиловых энергоблоков прошлого поколения. Переход на холодную газоочистку при прочих равных условиях позволяет достичь требуемого уровня экономичности современных энергоблоков. Изменение режима конверсии дает совместно со сменой модельного топлива при прочих равных условиях дает минимальный выигрыш в экономичности (~ 1,2...1,5 %). Реализация варианта с горячей системой газоочистки увеличивает КПД установки по сравнению с вариантом с квенчингом на 8 %, что делает ее конкурентоспособной по сравнению с разрабатываемыми энергоблоками на суперсверхкритические параметры пара.

На рисунке приведено сравнение рассчитанных вариантов с другими типами энергоблоков.



- Сравнение разрабатываемой ПГУ (1 – область исследованных компоновок; 2 – линия развития гибридных ПГУ на основе технологии кипящего слоя; точка в кружке – рассчитанная компоновка IGCC на достигнутые параметры; А0, А11, А12, Б1, Б2 – исследованные компоновки ПГУ)

Рассматриваемая ПГУ по энергетической эффективности близка разработанным ранее технологиям, однако применение более совершенных решений в тепловой схеме, позволяет рекомендовать ее к дальнейшей проработке. Переход на горячую газоочистку дает необходимый выигрыш в экономичности по сравнению с более сложными схемами на основе технологии КС.

*Библиографический список*

1. Гордеев С.И. [и др.] О предпроектной разработке гибридной угольной ПГУ с воздухоподогревателем / С.И. Гордеев, Н.В. Вальцев, Т.Ф. Богатова, Е.И. Левин, В.Л. Шульман, А.Ф. Рыжков, Н.А. Абаймов // Электрические станции. 2012. № 10. С. 17-21.

## **О МЕТОДАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ ТЕПЛОТЫ И ТОПЛИВА ПО ВИДАМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ТЭЦ**

*Горсткин Д.А., Суворов Д.М.*

*Вятский государственный университет, г. Киров*

*dmitriy.diel@gmail.com, dmilar@mail.ru*

На сегодняшний день существует изрядное количество методов распределения затрат теплоты (топлива) на выработку электрической энергии и отпуск тепловой на ТЭЦ [1, 2]. Однако до сих пор нет однозначного ответа на вопрос о том, какой из них является наилучшим. В ходе данной работы был изучен и применен термодинамический метод в интерпретации [2]. Данные для расчетов были получены на математической модели турбины Т-50-12,7, построенной на базе реальных энергетических характеристик отсеков проточной части. Все расчеты велись с различными значениями тепловой и электрической мощности в режиме одноступенчатого подогрева сетевой воды с давлением 50 кПа в 7 отборе на нижний сетевой подогреватель (НСП), расход свежего пара в голову турбины составлял 50 кг/с, температура обратной сетевой воды – 40 °С. Значения, полученные по термодинамическому методу [2], сравнивались с результатами значений с использованием других известных методов расчета (физического, эксергетического, нормативного).

Суть термодинамического метода [2] заключается в трансформации реального цикла ТЭЦ в несколько обратимых циклов Карно, в которых теплота отводится в конденсаторе, регулируемых и нерегулируемых отборах. Для этого уравнение теплового баланса турбоустановки  $Q_3 = Q_o - Q_m$  делят на одинаковое изменение удельной энтропии верхнего и нижнего источника теплоты конгруэнтного цикла Карно для каждого такого цикла.

Например: цикл Карно на НСП для исследуемых режимов:

$Q_{подв} = T_{o\text{ ср}} M_{нсп} (s_7 - s_{7к})$  – подведенная тепловая мощность;

$Q_{отв} = Q_{нсп} = T_{ср\text{ отв}} M_{нсп} (s_7 - s_{7к})$  – отведенная тепловая мощность;

$Q_N = Q_{подв} - Q_{отв}$  – мощность турбины, получаемая на нижнем отборе,

где  $T_{o\text{ ср}}$  – средняя абсолютная температура подвода теплоты в этом частном цикле, численно равная средней температуре подвода теплоты в цикле ТЭЦ;  $T_{ср\text{ отв}}$  – средняя абсолютная температура отвода теплоты;  $G_{нсп}$  – расход пара на НСП;  $s_7$  и  $s_{7к}$  – удельные энтропии пара 7 отбора и конденсата этого пара соответственно.

Для того чтобы найти удельные расходы топлива (теплоты), необходимо вычислить произведение  $T_{ср\ отб}M_{нсп}$ , К·т/ч. Для дальнейших расчетов находится удельный расход топлива на один К·т/ч, общий для подвода теплоты частных циклах Карно:

$$b = B / T_{о\ ср} M_o,$$

где  $B$  – расход топлива энергетическим котлом,  $M_o$  – расход свежего пара.

Расход условного топлива на выработку тепловой мощности в НСП находится по формуле:

$$B_{нсп} = b T_{ср\ отб} M_{нсп}.$$

Соответственно, удельный расход топлива и удельный расход теплоты на выработку тепловой мощности для данного цикла:

$$b_{нсп} = b_m = B_{нсп} / Q_{нсп};$$

$$q_m = b_m / 34,1.$$

#### Сводные результаты расчетов

| Поз. | Показатели, МВт |       | Показатели, МВт   | $b_o$       | $b_m$       | $q_o$ | $q_m$ | $\underline{b}=q_m/q_o$ |
|------|-----------------|-------|-------------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------------------|
|      | $Q_m$           | $N_o$ |                   | кг у.т./ГДж | кг у.т./ГДж |       |       |                         |
| 1    | 79,78           | 40,62 | Физический        | 153,698     | 37,085      | 1,252 | 1,088 | 0,869                   |
|      |                 |       | Эксергетический   | 287,329     | 18,185      | 2,340 | 0,533 | 0,228                   |
|      |                 |       | Нормативный       | 238,554     | 25,084      | 1,943 | 0,736 | 0,379                   |
|      |                 |       | Термодинамический | 242,11      | 24,581      | 1,972 | 0,721 | 0,366                   |
| 2    | 65,00           | 41,34 | Физический        | 198,733     | 37,085      | 1,618 | 1,088 | 0,672                   |
|      |                 |       | Эксергетический   | 300,903     | 19,033      | 2,450 | 0,558 | 0,228                   |
|      |                 |       | Нормативный       | 257,603     | 26,683      | 2,098 | 0,783 | 0,373                   |
|      |                 |       | Термодинамический | 269,50      | 24,581      | 2,195 | 0,721 | 0,328                   |
| 3    | 55,00           | 42,31 | Физический        | 225,728     | 37,085      | 1,838 | 1,088 | 0,592                   |
|      |                 |       | Эксергетический   | 308,075     | 19,487      | 2,509 | 0,571 | 0,228                   |
|      |                 |       | Нормативный       | 268,769     | 27,887      | 2,189 | 0,818 | 0,374                   |
|      |                 |       | Термодинамический | 284,24      | 24,581      | 2,315 | 0,721 | 0,311                   |
| 4    | 35,00           | 44,67 | Физический        | 273,627     | 37,085      | 2,228 | 1,088 | 0,488                   |
|      |                 |       | Эксергетический   | 320,970     | 20,302      | 2,614 | 0,595 | 0,228                   |
|      |                 |       | Нормативный       | 291,776     | 30,651      | 2,376 | 0,899 | 0,378                   |
|      |                 |       | Термодинамический | 308,90      | 24,581      | 2,515 | 0,721 | 0,287                   |
| 5    | 25,00           | 45,81 | Физический        | 295,919     | 37,085      | 2,410 | 1,088 | 0,451                   |
|      |                 |       | Эксергетический   | 327,993     | 20,759      | 2,671 | 0,609 | 0,228                   |
|      |                 |       | Нормативный       | 305,418     | 32,250      | 2,487 | 0,946 | 0,380                   |
|      |                 |       | Термодинамический | 320,48      | 24,581      | 2,610 | 0,721 | 0,276                   |
| 6    | 10,00           | 47,39 | Физический        | 328,307     | 37,085      | 2,674 | 1,088 | 0,407                   |
|      |                 |       | Эксергетический   | 340,107     | 21,551      | 2,770 | 0,632 | 0,228                   |
|      |                 |       | Нормативный       | 329,901     | 34,987      | 2,686 | 1,026 | 0,382                   |
|      |                 |       | Термодинамический | 337,80      | 24,581      | 2,751 | 0,721 | 0,262                   |

Зная расход условного топлива на выработку тепловой мощности, а также отпуск пара внешнему потребителю (если он имеется), можно найти расход топлива на выработку электрической энергии, а, следовательно, и удельные показатели затрат топлива и теплоты:

$$B_{\text{э}} = B - \sum B_m;$$

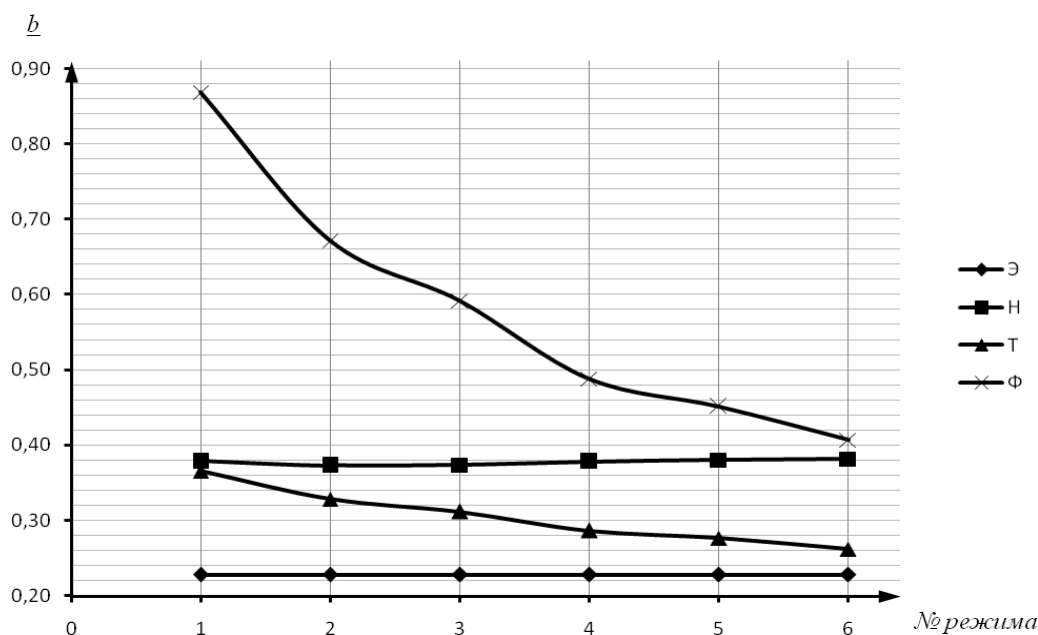
$$b_{\text{э}} = B_{\text{э}} / \text{Э},$$

где Э – количество выработанной электрической энергии;

$$q_{\text{э}} = b_{\text{э}} / 122,8.$$

Для сравнения исследуемых режимов использовался также показатель  $\underline{b}$  – отношение удельных расходов теплоты на выработку тепловой энергии к электрической. Результаты расчетов приведены в таблице.

Из таблицы видно, что значения  $\underline{b}$  занимают промежуточное положение между значениями эксергетического и нормативного метода. Однако, в отличие от двух вышеуказанных методов, значение  $\underline{b}$  при использовании которых практически не меняется, величина  $\underline{b}$  термодинамического метода наряду с  $\underline{b}$  физического метода меняет свое значение в достаточно широких пределах (рисунок). К достоинствам метода можно отнести отсутствие эмпирических коэффициентов и простоту использования.



Изменение величины  $\underline{b}$ , рассчитанной по различным методам в указанных режимах работы турбоагрегата

На графике: Э – эксергетический метод, Н – нормативный метод, Т – термодинамический метод, Ф – физический метод.

#### Библиографический список

1. Киселев Г.П. Варианты расчета удельных показателей эффективности работы ТЭЦ. Методическое пособие. М.: МЭИ, 2003. 32 с.
2. Зайцев Е.Д. Метод расчета удельных расходов топлива на различные виды энергии, отпускаемой ТЭЦ // Современные научные исследования и инновации. Сентябрь 2012. № 9 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/09/16911>

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГО ВЕРХ-НЕЙВИНСКИЙ**

*Горшков Е.И., Левин Е.И., Микула В.А.  
УрФУ, tes.urfu@mail.ru*

Проектирование систем теплоснабжения представляет собой комплексную проблему, от решения которой во многом зависят масштабы необходимых капитальных вложений в эти системы и их эффективность.

Схема теплоснабжения – документ, содержащий предпроектные материалы по обоснованию эффективного и безопасного функционирования системы теплоснабжения, ее развития с учетом правового регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Основой для разработки и реализации схемы теплоснабжения является Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ "О теплоснабжении" (Статья 23. Организация развития систем теплоснабжения поселений, городских округов), регулирующий всю систему взаимоотношений в теплоснабжении и направленный на обеспечение устойчивого и надёжного снабжения тепловой энергией потребителей.

В 2013 г. нами была разработана схема теплоснабжения ГО Верх-Нейвинский. При разработке схемы теплоснабжения кроме ФЗ "О теплоснабжении" использовались «Требования к схемам теплоснабжения» и «Требования к порядку разработки и утверждения схем теплоснабжения», утвержденные постановлением Правительством Российской Федерации № 154 от 22 февраля 2012 г.

Основные разделы схемы теплоснабжения:

- 1) определение условий организации централизованного теплоснабжения, индивидуального теплоснабжения, а также поквартирного отопления;
- 2) решения о загрузке источников тепловой энергии, принятые в соответствии со схемой теплоснабжения;
- 3) графики совместной работы источников тепловой энергии, функционирующих в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, и котельных, в том числе график перевода котельных в "пиковый" режим функционирования;
- 4) меры по консервации избыточных источников тепловой энергии;
- 5) меры по переоборудованию котельных в источники комбинированной выработки электрической и тепловой энергии;
- 6) радиус эффективного теплоснабжения, позволяющий определить условия, при которых подключение (технологическое присоединение) теплопотребляющих установок к системе теплоснабжения нецелесообразно вследствие увеличения совокупных расходов в указанной системе;
- 7) оптимальный температурный график и оценка затрат при необходимости его изменения.

Нового строительства в ГО Верх-Нейвинский не планируется, но изменение потребления тепловой энергии до 2027 г. обусловлено обязательным пере-

ходом на закрытую схему теплоснабжения с 2022 г. и предлагаемой модернизации тепловой сети.

Предложения по реконструкции тепловой сети определяются тем, что:

1) оборудование котельной морально и физически устарело, имеется дефицит мощности котельной (около 10 %). Средний срок службы оборудования котельной составляет – 46 лет. В связи с этим теплоисточник работает с пониженным КПД, велики ежегодные затраты на поддержание котельной в работоспособном состоянии;

2) отсутствуют средства автоматизации, что приводит к запаздыванию в регулировании режимов, снижению качества регулирования к увеличению удельных затрат электроэнергии, перерасходу природного газа и др.;

3) отсутствует резервное и аварийное топливо;

4) большой износ тепловых сетей. Утечки теплоносителя из тепловой сети превышают норматив в 1,7 раз. Превышение потерь тепловой энергии через теплоизоляцию составляет 3,5 раза от нормативных.

Предложения по реконструкции схемы теплоснабжения включают в себя:

1) перераспределение тепловой нагрузки, а именно отказ от теплоснабжения завода, отключение части потребителей с переводом на индивидуальное теплоснабжение;

2) отключение неэффективных участков тепловой сети (с большими тепловыми потерями);

3) отказ от использования старой котельной и установка двух новых котельных. Первой – мощностью 20МВт и второй – 1 МВт;

4) установку газопоршневого агрегата мощностью 130 кВт для комбинированной выработки электроэнергии на базе нагрузки ГВС на собственные нужды котельной 20 МВт;

5) в результате расчетов модели тепловой сети в ГИС “Zulu” было выбрано оптимальное место для установки новых котельных, проведена оптимизация конфигурации тепловой сети с изменением диаметров некоторых участков. Оптимизация конфигурации тепловой сети позволила отключить насосы в тепловых пунктах и обеспечить возможность работы новых теплоисточников и повысить надежность и экономичность работы.

На рисунке показана схема тепловой сети с перспективными зонами действия систем теплоснабжения и источников тепловой энергии.

В результате реконструкции экономия будет достигнута за счет высокого КПД новых котельных, снижения потребления электроэнергии в тепловых пунктах, на сетевых насосах, выработки собственной электроэнергии с помощью ГПА 130 кВт, снижения потерь тепловой энергии и теплоносителя в тепловых сетях, сокращения фонда заработной платы. Экономия за счет предлагаемых мероприятий была оценена в 21 млн руб./год.

Капитальные затраты включают в себя затраты на строительство котельных, подключение котельных к э/сети, прокладку новых газопроводов, установку ГПА, замену тепловых сетей. Капитальные затраты были оценены в 106 млн руб. (изоляция тепловых сетей – минеральная вата) или в 190 млн руб.

(предизолированные трубы). Срок окупаемости составил 5 и 9 лет соответственно.



Схема тепловой сети с перспективными зонами действия систем теплоснабжения и источников тепловой энергии

По результатам работы в настоящее время областным правительством выделено 96 млн руб. на строительство новой котельной мощностью 20 МВт, которое запланировано в течение ближайшего года.

## ГАЗООЧИСТКА УЧАСТКА ПРОИЗВОДСТВА КОНСИСТЕНТНЫХ СМАЗОК

Гринёв Д.И.<sup>1</sup>, Сабиров Т.Н.<sup>2</sup>, Бачерикова А.К.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>УрФУ, <sup>2</sup>ОАО «Пушкинский завод», <sup>3</sup>МТПА "Делфин Групп"

Установка газоочистки участка производства консистентных смазок ОАО «Пушкинский завод» предназначена для санитарной очистки вентиляционного воздуха системы аспирации реакторов производства смазок типа Литол и Солидол. Установка обеспечивает улавливание капель жиров, конденсацию водяного пара и газов термической деструкции жиров. Данная газоочистка имеет в основном экологическое назначение, но может частично утилизировать низкопотенциальное тепло в зимний период эксплуатации.

В режиме с отводом тепла конденсации часть циркулирующего орошающего пароконденсатор раствора отводится насосом на внешний теплообменник, где осуществляется утилизация низкопотенциального тепла для целей обогрева помещений. Нагретая вода может использоваться для отопления, либо охлаждаться на градирне.

Установка очистки парогазового выброса состоит из полых каплеуловителей, пароконденсатора, абсорбера санитарного, насосов, двух групповых низ-



конапорных гидроциклонов, жируловителя тонкослойного очистки водооборота, теплообменника охлаждения водооборота, градирни, трубопроводной обвязки с арматурой и приборами контроля.

Установка газоочистки последовательно осуществляет улавливание взвешенной фазы в каплеуловителях, конденсацию паров и доулавливание взвеси в пароконденсаторе, орошаемом охлаждаемой водой, санитарную газоочистку неконденсирующейся фазы методом абсорбции раствором реагента. Контур орошения пароконденсатора и абсорбера отдельные. Пароконденсатор орошается преимущественно водой, абсорбер раствором.

Оборотная вода, орошающая пароконденсатор, проходит очистку от уловленных жиров и масел первично в гидроциклонах и затем в тонкослойном отстойнике-жируловителе и охлаждается в теплообменнике. Внешний контур охлаждающего водооборота теплообменника совмещён с системой отопления цеха и градирни.

**Газовый тракт.** Обрабатываемый паровоздушный поток соответственно от каждого реактора, содержащий аэрозоль масел, водяной пар и газ термической деструкции жиров, сперва поступает на сепарацию в соответствующие каплеуловители где происходит улавливание большей части взвешенной фазы – капель и брызг. Уловленная жидкость из соответствующего центробежного каплеуловителя непрерывно стекает в приёмные лотки.

Затем освобождённый от большей части взвеси, паровоздушный поток, поступает на промывку в скруббер-пароконденсатор. Скруббер, в зависимости от выбранного режима работы, осуществляет либо полную конденсацию пара и улавливание брызг и тумана, или осуществляет горячую отмывку паровоздушного потока от взвеси масел без конденсации пара. В номинальном режиме пароконденсатор осуществляет полную конденсацию пара непрерывно охлаждаемой в теплообменниках водой. Уловленное низкопотенциальное тепло должно быть утилизировано или безвозвратно рассеяно на градирне.

После пароконденсатора газовый поток, содержащий атмосферный воздух и газы термической деструкции жиров, поступает в насадочный санитарный абсорбер. В санитарном абсорбере, непрерывно орошаемом раствором реагента, улавливаются и нейтрализуются газы термической деструкции жиров, а очищенный вентиляционный воздух поступает на вентилятор и далее выбрасывается в атмосферу.

**Жидкостный тракт.** Скруббер-пароконденсатор и абсорбер имеют независимые контуры орошения.

Предполагается установка двух теплообменников на напорных коллекторах насосов. Промежуточные теплообменники пластинчатого типа устанавливаются в контур орошения скруббера-пароконденсатора для охлаждения циркулирующей жидкости до 45 °С и ниже. Теплообменник выводит тепло конденсации из скруббера. Сброс тепла осуществлять на градирне или калориферах (АВОГ) системы отопления.

Циркуляцию в пароконденсаторе обеспечивают два насоса разной производительности. Насос большей производительности, работающий также на теплообменник, включается системой автоматизации по сигналу термодатчика, уста-

новленных в газоходу между скруббером и абсорбером и под уровнем жидкости в баке скруббера.

Нагретая в пароконденсаторе жидкость перетекает в отстойник-жироуловитель для основного выделения из оборота масел. Из отстойника осветлённая вода насосами подаётся сначала в регулируемые гидроциклоны для дополнительной сепарации масел, затем в теплообменники и обратно в пароконденсатор на орошение. Трубопроводная обвязка отстойника позволяет регулировать объём жидкости подаваемый на освещение.

Очистка вентвоздуха от газов термической деструкции жиров осуществляется в вертикальном насадочном абсорбере.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕРСИИ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ МЕТОДОМ ТГА

*Даргевич М.А., Кривова К.Д., Павловская Н.А., Хабиббулин А.Р.  
УрФУ, tes.urfu@mail.ru, dargevich@mail.ru*

Одним из основных лабораторных методов для определения кинетических констант, а также скорости реагирования угля в процессе конверсии является термогравиметрический анализ [1]. Данный метод позволяет регистрировать изменение массы порции угля, подвергающейся нагреву в печи при заданной скорости разогрева. Получаемая в эксперименте кривая изменения массы образца в зависимости от времени дает возможность установить температурные диапазоны различных стадий (сушка, выход летучих, выгорание коксового остатка), а также рассчитать эффективные значения кинетических параметров путем соответствующей математической обработки.

В опытах использовался экибастузский уголь, характеристики которого приведены в таблице.

Характеристики угля Экибастузского месторождения [2]

| Показатели                           | Средние значения |
|--------------------------------------|------------------|
| Технические характеристики           |                  |
| $W^r, \%$                            | 3,4              |
| $A^d, \%$                            | 45,0             |
| $V^{daf}, \%$                        | 30,4             |
| Элементный состав и теплота сгорания |                  |
| $C^{daf}, \%$                        | 80,6             |
| $H^{daf}, \%$                        | 5,3              |
| $N^{daf}, \%$                        | 1,5              |
| $O^{daf}, \%$                        | 11,8             |
| $S_c^{daf}, \%$                      | 0,8              |
| $Q_i^{daf}, \text{ккал/кг}$          | 7270             |

Основными элементами термогравиметрического анализатора являются печь нагрева и блок весов. Температура разогрева печи программируется в диапазоне от 25 до 1250 °С. К образцу угля подводится смесь газов, которая позво-

ляет исследовать процесс конверсии в различных режимах – пиролиз, сжигание, газификация.

Вертикальная конструкция печи гарантирует надежную работу весов, благодаря защитному и продувочному газу, который проходит через весы и вытесняет продукты реакции (рис. 1). Устройство прибора позволяет также организовать синхронный термический анализ с одновременным измерением концентрации выделяющихся газов.

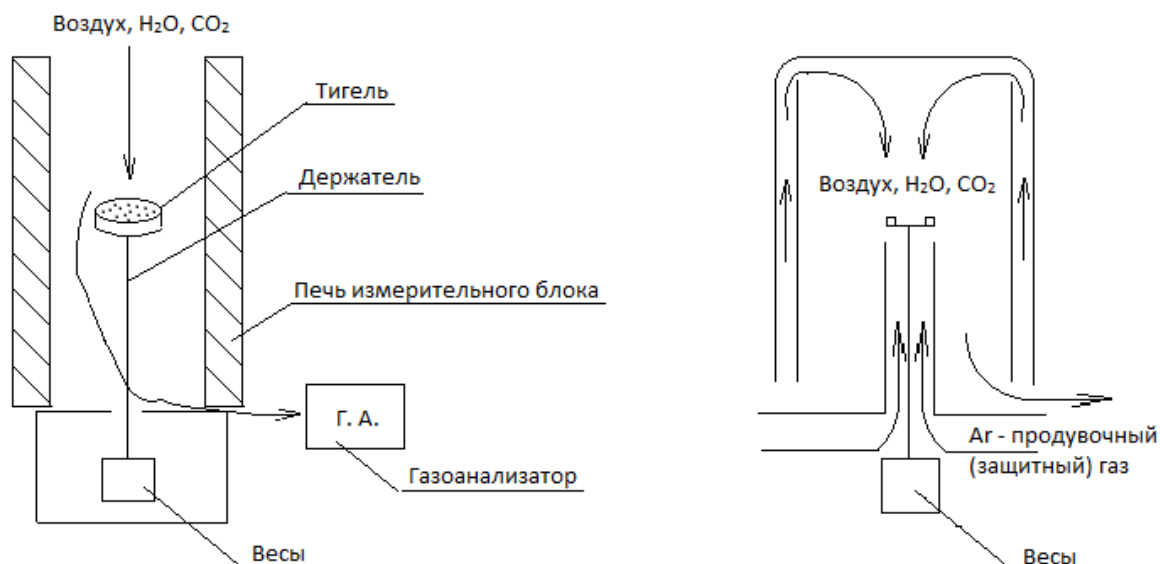


Рис. 1. Схематичное изображение ТГА анализатора

Результат термогравиметрического измерения в инертной среде (Ar) представлен на рис. 2. Скорость нагрева в эксперименте составила 10 К/мин. Как видно из рисунка, на первом участке происходит убыль массы за счет испарения содержащейся в образце влаги. На втором характерном участке происходит выход летучих, причем данный процесс не успевает завершиться до окончания эксперимента при температуре 700 °С.

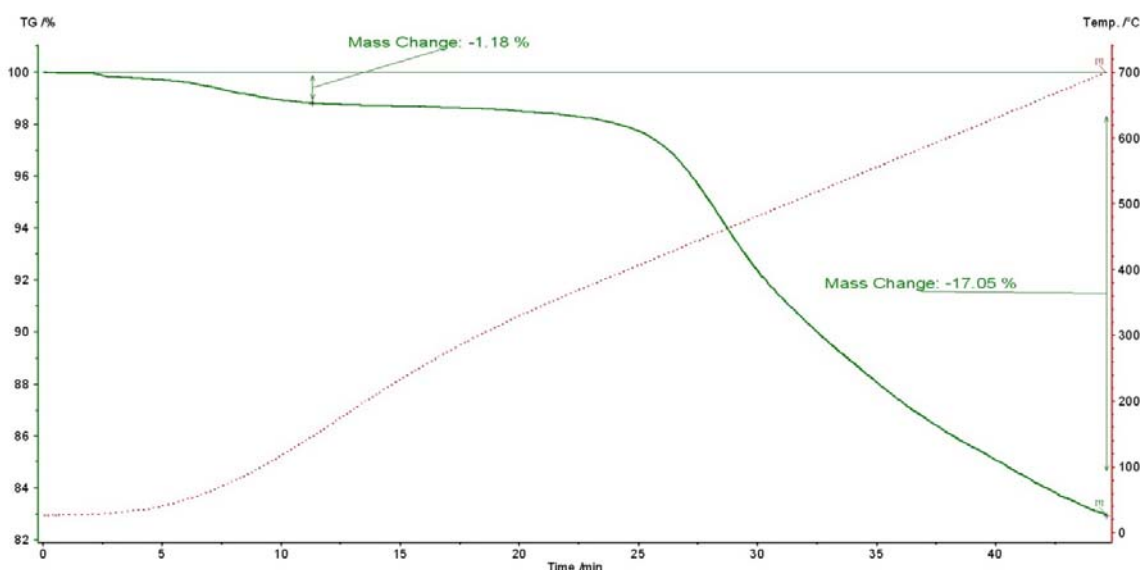


Рис. 2. Зависимость убыли массы экибастузского угля при разогреве в инертной среде от времени

Существуют различные подходы к обработке экспериментальных данных с целью определения кинетических характеристик процесса. Для образцов исходного угля или коксового остатка наиболее распространенным выражением расчета энергии активации, предэкспоненциального множителя и порядка реакции является следующее [3]:

$$\frac{dX}{dt} = k(T)f(X)P_c^n, \quad (1)$$

где  $X$  – степень конверсии угля,  $f(X)$  – фактор формы, который зависит от физико-химических свойств частицы,  $P_c$  – парциальное давление газа-реагента (Па),  $n$  – порядок реакции,  $k(T)$  – константа скорости химического реагирования (1/с).

Выражение для константы скорости химического реагирования может быть записано в виде:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (2)$$

где  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель (1/с),  $E$  – энергия активации, (кДж/моль).

Принимая для конверсии угля значение  $f(X)=1-X$ , можно использовать метод нелинейной регрессии для подбора значений  $k_0$ ,  $E$  и  $n$ , чтобы полученное уравнение наиболее близко описывало экспериментальную кривую конверсии экибастузского угля.

Таким образом, можно сделать вывод, что метод термогравиметрического анализа позволяет исследовать конверсию образцов угля в широком температурном диапазоне и в различных газовых средах. В дальнейших опытах планируется перейти от исследований в инертной среде к исследованию конверсии в воздушной и паровоздушной атмосфере. Полученные данные по удельной скорости реагирования, кинетическим параметрам, концентрации продуктов реакции планируются использовать на втором этапе при моделировании энергетических реакторов в пакетах вычислительной гидрогазодинамики.

#### *Библиографический список*

1. Рыжков А.Ф. [и др.]. Разработка низкотемпературных реакторов термохимической конверсии для угольной энергетики / А.Ф. Рыжков, Т.Ф. Богатова, Н.В. Вальцев и др. // Теплоэнергетика. 2013. № 12. С. 47-55.
2. Энергетические угли восточной части России и Казахстана: Справочник / В.В. Богомолов, Н.В. Артемьева, А.Н. Алехнович, Н.В. Новицкий (УралВТИ), Н.А. Тимофеева (СибВТИ). Челябинск: УралВТИ, 2004. 304 с.
3. Liu H. Combustion of Coal Chars in O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Mixtures: A Comparative Study with Non-isothermal Thermogravimetric Analyzer (TGA) Tests // Energy Fuels. 2009. Vol. 23. P. 4278–4285.

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОДНОГО ИЗ РАЙОНОВ ГОРОДА ОРСКА**

*Девизкая Н.А., Плужникова Н.А., Картавцев С.В.  
Московский институт стали и сплавов, Новотроицкий филиал*

Системы коммунального теплоснабжения в климатических условиях Восточного Оренбуржья (города Орск, Новотроицк, Гай, Медногорск, Кувандык, Ясный; районы Домбаровский, Новоорский, Кваркенский) работают в

достаточно суровых условиях. Температура наружного воздуха за отопительный период для Восточного Оренбуржья (расчётная для отопления)  $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1]. Температура наружного воздуха за отопительный период (абсолютный минимум) –  $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура наружного воздуха за отопительный период –  $-7,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность отопительного периода – 4896 ч. Скорость ветра в январе – 5,0 м/с.

В таких условиях перерыв в теплоснабжении жилого района при низких температурах приводит к тяжелейшим последствиям: размораживанию систем отопления, теплоснабжения жилья и социальных объектов, необходимости эвакуации, расселения и жизнеобеспечения населения.

Вопрос надёжности теплоснабжения потребителей тепловой энергии при таких климатических условиях очень актуален. В качестве положительного примера надёжности схем теплоснабжения можно привести схему теплоснабжения г. Новотроицка. В декабре 2012 г. на ТЭЦ «Уральская Сталь» произошла серьёзнейшая авария – остановились все котлоагрегаты, циркуляционные насосы. При этом температура наружного воздуха была  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ТЭЦ «Уральская Сталь» является основным поставщиком тепловой энергии – с её помощью покрываются около 80 % тепловой нагрузки. Преимущество схемы теплоснабжения г. Новотроицка в том, что параллельно на тепловую сеть в системе работают две котельных, которые и покрывают 20 % нагрузки, но в аварийной ситуации при отключении основного источника тепла включение в работу пиковых котельных позволило обеспечить сохранность магистральных тепловых сетей и систем теплоснабжения потребителей.

Достаточно частой причиной массового останова котельных является перерыв электроснабжения, как это было зимой 2005/2006 гг. в г. Болохов Тульской области. Встали все четыре котельных, и город замерз.

В отличие от других причин типа порывов теплосетей, которые в принципе устранимы, например, их обновлением, погодные причины нарушения теплоснабжения из-за перерывов электроснабжения котельных не устранимы при получении котельными электроэнергии от сети [2, 3].

Все это в высшей степени актуализирует вопросы надёжности теплоснабжения в зимний период.

Один из жилых районов г. Орска отапливается тремя независимыми котельными с отопительной мощностью 30, 40 и 50 Гкал/ч. Отсутствие связей по теплу создает серьёзную угрозу при аварийном отключении одного из источников теплоты. Один из вариантов решения проблемы представлен на рисунке.

Безопасность системы теплоснабжения определяется следующими показателями:

- резервирование системы теплоснабжения;
- бесперебойная работа источников тепловой энергии, тепловых сетей и системы теплоснабжения в целом;
- способность источников тепловой энергии, тепловых сетей и системы теплоснабжения в целом сохранять свою работоспособность в аварийных ситуациях.

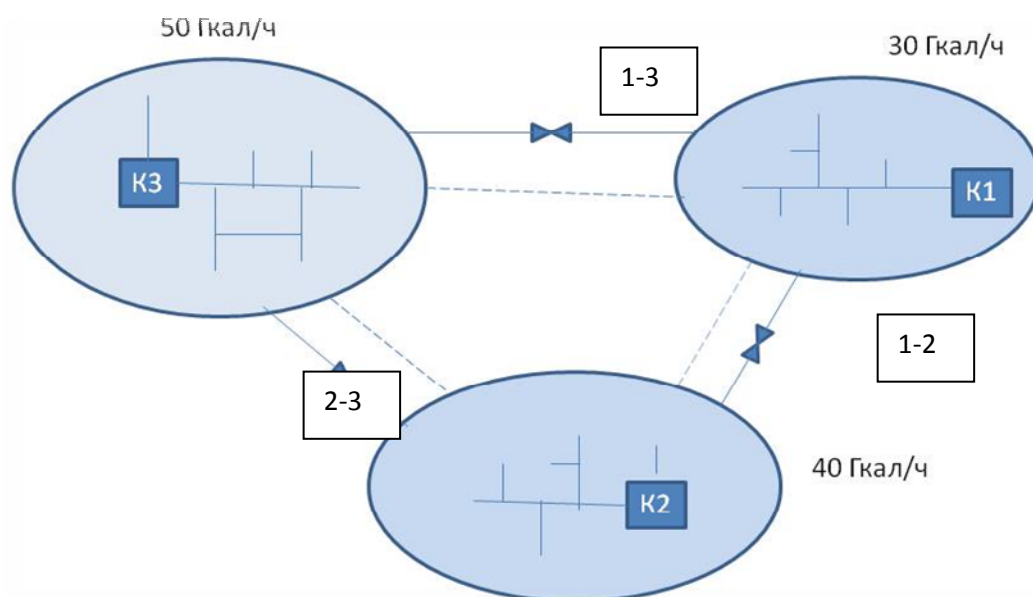


Схема теплоснабжения одного из районов г.Орска

Возможным решением по резервированию источников теплоты могут стать две или три переключки между тремя автономными системами.

Расчетами установлено, что возможны три аварийных случая потери суммарной мощности при отключении только одного источника теплоты:

Таблица 1

Возможные случаи аварийного отключения (АО)  
одного из трех источников теплоснабжения

|       | 1      | 2      | 3      | Сумма  |     |
|-------|--------|--------|--------|--------|-----|
|       | Гкал/ч | Гкал/ч | Гкал/ч | Гкал/ч | %   |
| Норма | 30     | 40     | 50     | 120    | 100 |
| I     | —      | 40     | 50     | 90     | 75  |
| II    | 30     | —      | 50     | 80     | 67  |
| III   | 30     | 40     | —      | 70     | 58  |

При аварийном отключении любого источника энергии суммарная мощность трех систем снижается, а на аварийный участок должна поступать тепловая энергия по двум независимым переключкам минимальных диаметров, так как это потребует наименьших капитальных и эксплуатационных затрат.

Диаметры переключек определяются пропускной способностью теплопроводов при обычном гидравлическом режиме.

Таблица 2

Пропускная способность трубопроводов  
по теплоте и по теплоносителю [4]

| Диаметр трубы, мм | Пропускная способность |      |                  |      |
|-------------------|------------------------|------|------------------|------|
|                   | По теплоте             |      | По теплоносителю |      |
|                   | Вода                   | Пар  | Вода             | Пар  |
|                   | Гкал/ч                 |      | т/ч              |      |
| 300               | 26,6                   | 12,2 | 444              | 22,2 |
| 350               | 40,3                   | 18,5 | 672              | 33,6 |
| 400               | 56,5                   | 26,0 | 940              | 47,0 |

Исходя из табличных данных, значения минимальных диаметров перемычек могут составить (табл. 3):

Таблица 3

Принятые диаметры перемычек на аварийную мощность, перебрасываемую на аварийный участок по двум трубам

|     | 1-2   | 2-3   | 3-1   | Сумма  |    |
|-----|-------|-------|-------|--------|----|
|     | м     | м     | м     | Гкал/ч | %  |
| I   | 0,300 | –     | 0,400 | 80     | 67 |
| II  | 0,300 | 0,350 | –     | 70     | 58 |
| III | –     | 0,350 | 0,400 | 90     | 75 |

Таким образом, надежность теплоснабжения данного жилого района может быть значительно повышена.

Еще большую надежность может обеспечить кольцевой коллектор для всех трех районов, но это потребует больших затрат.

*Библиографический список*

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М: Издательство МЭИ, 2001. 432 с.
2. <http://www.combienergy.ru/stat997.html>
3. Картавцев С.В. Современные проблемы теплоэнергетики. Магнитогорск: МГТУ, 2012. 59 с.
4. [http://www.baurum.ru/\\_library/?cat=heat-consumption&id=4034](http://www.baurum.ru/_library/?cat=heat-consumption&id=4034)

## ШКОЛА УМНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ (АИИС КУЭ ШКОЛЫ)

*Ерошенко С.А., Егоров А.О.  
УрФУ, eao@daes.ustu.ru, stas\_ersh@mail.ru*

С 2007 г. Уральский федеральный университет, совместно с Фондом «Надёжная Смена», реализует программу профессиональной ориентации по программе «Электроэнергетика» среди школьников г. Екатеринбурга. В рамках проекта, в одной базовой школе (Лицей № 130), предусмотрено создание стационарной экспериментальной лаборатории на основе трёхуровневой автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электрической энергии (АИИС КУЭ). Вся измерительная информация от системы АИИС КУЭ, в т.ч. коммерческая, в оперативном режиме выкладывается на специально созданный сайт в численном и графическом виде в открытый для всех, в том числе учеников, доступ. Для ведения занятий в лаборатории создана новая учебная программа «Энергоэффективность бытовых потребителей», которая будет внедрена в учебный процесс в Лицее № 130 и Уральском федеральном университете.

Такая постановка образовательного процесса, обеспечивающая оперативный smart-доступ к измерительной информации от системы АИИС КУЭ школы, позволяет наглядно довести до бытовых потребителей электрической энергии (в т.ч. преподавателей и учеников) проблемы энергетической эффективности и самое главное, что это такое и какими средствами и методами она достигается. Создание схемы обучения по принципу «система электроснабжения и потреби-

тель», где потребитель выполняет роль технологического и коммерческого диспетчера позволяет обучать школьников проблемам анализа режимов работы систем электроснабжения, проектирование систем электроснабжения, учёт электрической энергии, качество электрической энергии, диспетчерское управление нагрузкой, планирование и прогнозирование электрических режимов, энергоэффективность и т.д.

Кроме того, введение в систему обучения предмета «Энергетическая эффективность» с лабораторным и информационным обеспечением, ещё на стадии обучения в школе, позволяет: качественно улучшить подготовку абитуриентов для УрФУ, разрабатывать и испытывать различные модели потребительского поведения, реализовать программу энергетической эффективности школы по существу. Также такая схема обучения позволяет повысить ответственность учащихся за потребление энергетических ресурсов, вложить свой интеллект в повышение энергетической эффективности и выработать культуру потребления и культуру энергетической эффективности, что является главной стратегической задачей проекта.

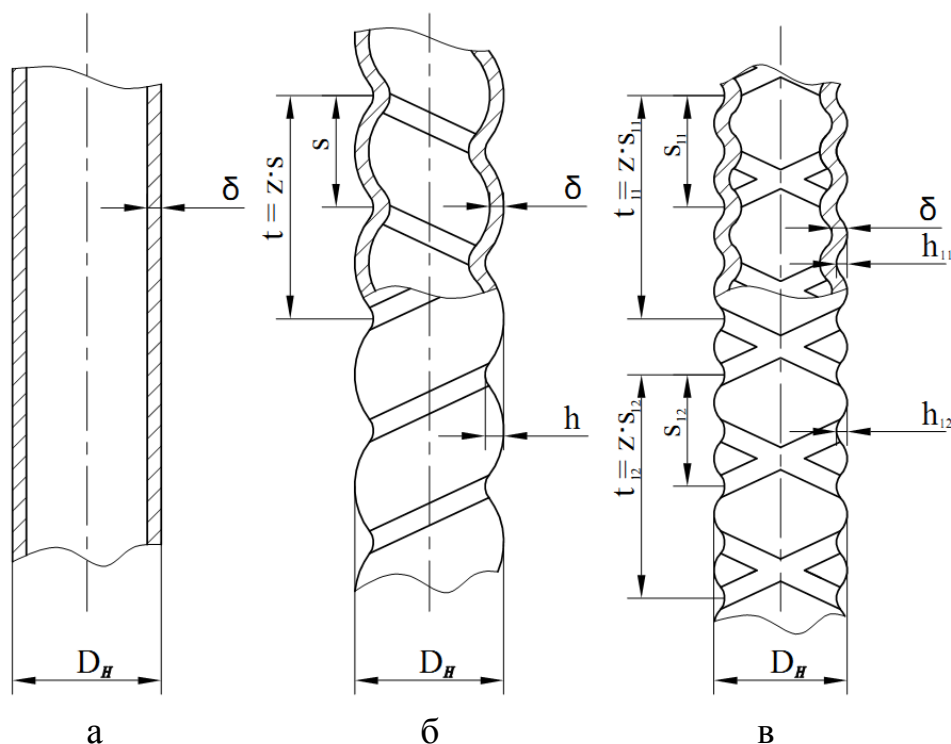
Проект «Школа умного потребителя» стал победителем всероссийского конкурса наукоёмких и инновационных проектов и разработок в сфере умной энергетики «Энергопрорыв-2013». План проекта представлен и награждён на Международном экономическом форуме в 2013 г., г. Санкт-Петербург (ПМЭФ-2013). Дорожная карта реализации проекта представлена инвесторам 29 октября 2013 г. на международном энергетическом Форуме UpGRID-2013, организованном Министерством энергетики Российской Федерации, ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Российские сети» в г. Москва 29-31 октября 2013 г.

## **МАСЛООХЛАДИТЕЛИ С ПРОФИЛИРОВАННЫМИ ТЕПЛООБМЕННЫМИ ТРУБКАМИ**

*Мурманский И.Б., Желонкин Н.В., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э.  
УрФУ, lta\_ugtu@mail.ru*

Применение профилированных трубок рассматривается в настоящее время как один из перспективных путей повышения эффективности теплообменных аппаратов паротурбинных установок. Широкое применение нашли профильные витые трубки (ПВТ) (рис. б), которые имеют ряд преимуществ перед другими поверхностями теплообмена: хорошая изученность этих трубок; отлаженная, достаточно простая и недорогая технология изготовления трубок; повышение интенсивности теплопередачи в аппаратах с такими трубками (на 15-40 %) в сравнении с гладкотрубными теплообменниками; допустимое в большинстве случаев увеличение гидравлического сопротивления аппарата (до 80 %) и т.д. Дальнейшим развитием данного типа поверхности теплообмена с винтовой накаткой является предложенная авторами поверхность теплообмена со встречной накаткой (ТВН) (рис. в, патент на полезную модель 112752 РФ). Проведенные экспериментальные исследования на трубке со встречной накаткой (ТВН) показали её повышенную эффективность.





#### Профильные витые трубки:

а – гладкая трубка; б – профильная витая трубка (ПВТ); в – трубка со встречной накаткой (ТВН):  $h$ ,  $h_{11}$ ,  $h_{12}$  – глубина канавки, мм;  $s$ ,  $s_{11}$ ,  $s_{12}$  – шаг между соседними канавками, мм;  $z$  – число заходов профилирования;  $\delta$  – толщина стенки трубки;  $D_n$  – наружный диаметр трубки

ПВТ изготавливаются из гладких трубок на специальном станке методом планетарной обкатки, закреплённой от вращения гладкой трубки тремя формирующими фасонными роликами малой толщины, которые устанавливались под требуемым углом к оси заготовки и вдавливаются в неё на необходимую глубину. При этом на наружной поверхности трубки образуются винтовые канавки, а на внутренней – соответствующие им выступы. ПВТ изготавливается с правой накаткой и шагом между соседними канавками  $s = 8$  мм. При изготовлении трубок ТВН производится дополнительное профилирование ПВТ (правая накатка  $s_{12}$ ) левой накаткой с необходимым шагом  $s_{11}$ .

В сериях модернизированных маслоохладителей, разработанных в УрФУ, реализован ряд конструкторских решений повышающих надежность и эффективность теплообменников:

- оптимизирована компоновка трубного пучка, на основе комплексного расчета тепловых, гидродинамических и надежности характеристик аппарата;
- уплотнен фторопластом периферийный кольцевой зазор между промежуточными перегородками и корпусом маслоохладителя;
- использована профилированная трубка из нержавеющей стали (08X18H10T). При использовании в маслоохладителях трубок из нержавеющей

стали, теплопроизводительность аппаратов снижается из-за более низкой в 6-7 раз теплопроводности стали в сравнении с МНЖ5-1. Для компенсации снижения теплопроизводительности применяется профилирование трубок. Параметры профилирования трубок выбираются применительно к конкретным условиям эксплуатации маслоохладителей;

- применена новая технология крепления трубок в трубных досках с кольцевыми рельефами в отверстиях; такое соединение имеет повышенную надежность, позволяет не использовать сварку при закреплении трубок;
- применены трубные доски и водяные камеры из коррозионно-стойких материалов (12Х18Н10Т);
- присоединительные размеры соответствуют серийному маслоохладителю.

Сравнительные испытания маслоохладителей с гладкими трубками, ПВТ и ТВН проводились на турбинах К-160-130 ХТГЗ ст. № 8, 9 Невинномысской ГРЭС. На турбине ст. № 8 установлены серийные маслоохладители МО-53-4, переведенные силами ГРЭС с 4-х ходовых на 2-х ходовые по охлаждающей воде. Во время планового ремонта на турбине ст. № 9 установлены маслоохладители МБ-50М-75, МО-1,2,4 с ПВТ, МО-3 с ТВН, изготовленные по проекту УрФУ, взамен серийным МО-53-4.

Анализ результатов проведенных испытаний на Невинномысской ГРЭС маслоохладителя МО-53-4 с гладкими трубками, новых МБ-50М-75 с ТВН и ПВТ и расчетного исследования показал:

- для сопоставления результатов испытаний маслоохладителей с различными типами поверхностей теплообмена использована разработанная авторами позонная методика теплогидравлического расчета; результаты расчетов по уточненной методике удовлетворительно согласуются с результатами испытаний маслоохладителей;
- проведенные исследования показали, что маслоохладители с ТВН охлаждают масло на 1-2 °С больше, чем маслоохладитель с гладкими трубками;
- гидравлическое сопротивление маслоохладителя с ТВН с масляной стороны при расходе масла через аппарат от 30 до 90 м<sup>3</sup>/ч до 15 % выше, чем маслоохладителя с ПВТ;
- гидравлическое сопротивление с водяной стороны маслоохладителя МБ-50М-75 (с ТВН) на 30–60 % выше, чем маслоохладителя МО-53-4 с гладкими трубками;
- количество передаваемой теплоты в МБ-50М-75 (с ТВН) на 10...15%, а в МБ-50М-75 (с ПВТ) на 9...12% выше, чем в аппарате с гладкими трубками;
- принятые при проектировании и изготовлении маслоохладителя МБ-50М-75 технические решения целесообразны и эффективны;
- применение трубок из нержавеющей стали существенно повышает надежность работы маслоохладителя, а их профилирование позволяет получить тепловую производительность нового маслоохладителя выше, чем у серийного на всех режимах работы.

## РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ КОКСА В УСТК

Запарнюк М.Н., Гордеева И.С., Нешпоренко Е.Г.  
Магнитогорский государственный технический университет  
mixaz@list.ru, neshporenkoeg@mail.ru

Энергетика теплотехнологии современной черной металлургии предполагает использование преимущественно магнетитовых железных руд, запасы которых истощаются. Так, например, на ММК подавляющая доля руд уже длительное время завозится из внешних месторождений.

В то же время, на Урале имеются значительные запасы альтернативных руд, в частности, сидеритов и сидероплезитов (Бакальское месторождение), которые не могут быть в значительных количествах переработаны по классической аглококсодоменной схеме. Доля вовлечения альтернативных руд в металлургический комплекс составляет не более 10 %.

Таким образом, перед металлургическими предприятиями стоит техническая и технологическая проблема расширения железорудной базы [1], неизбежно сопровождающаяся увеличением энергозатрат. В настоящее время сидеритовые руды обжигаются по автономной технологии с применением природного газа [2].

Однако в классическом металлургическом комплексе имеются неиспользуемые вторичные энергетические ресурсы, например, теплота кокса, которая теряется при его охлаждении (мокрый и сухой способ). Производство кокса – энергоёмкий процесс (около 150 кг у.т./т кокса). Температура поступающего после коксовой батареи материала достигает 1200 °С, которую необходимо уменьшить до уровня, установленного технологическим процессом [1].

Теплоту технологического продукта можно передать другому материалу. Например, для подогрева лома, для обжига окатышей, известняка, сидеритовой руды и др. Наибольший энергосберегающий эффект может быть получен при обработке того материала, на который тратится больше всего энергии, например, термическое обогащение сидеритовой руды (обжиг).

В работе разрабатываются несколько вариантов использования теплоты кокса для обжига сидеритовой руды: 1) смешение обжигаемого материала с коксом и одновременное охлаждение смеси (рис. 1); 2) смешение обжигаемого материала с коксом и одновременное охлаждение смеси с дальнейшим использованием теплоты выделяющихся газов  $\text{CO}_2$  (рис. 2). Расчеты проводились в идеальных термодинамических условиях.

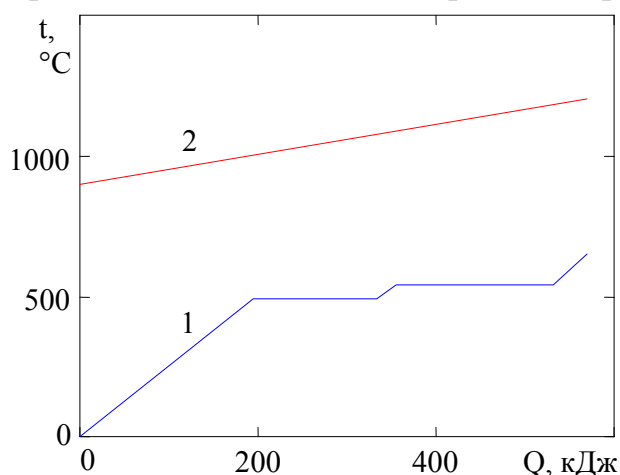


Рис. 1. Температурно-тепловой график обработки сидеритовой руды (вариант 1):  
1 – линия нагрева сидеритовой руды;  
2 – линия охлаждения кокса

За базовый вариант принята технология, применяемая для охлаждения кокса в УТСК. Через загруженный в бункер раскаленный кокс снизу продувают инертный газ  $N_2$ , который нагревается до  $800^{\circ}C$  и поступает в котел-утилизатор. При охлаждении 1 кг кокса вырабатывается около 0,4 кг пара средних энергетических параметров. После охлаждения газы при помощи вентилятора нагнетаются в нижнюю часть бункера для повторения цикла [1].

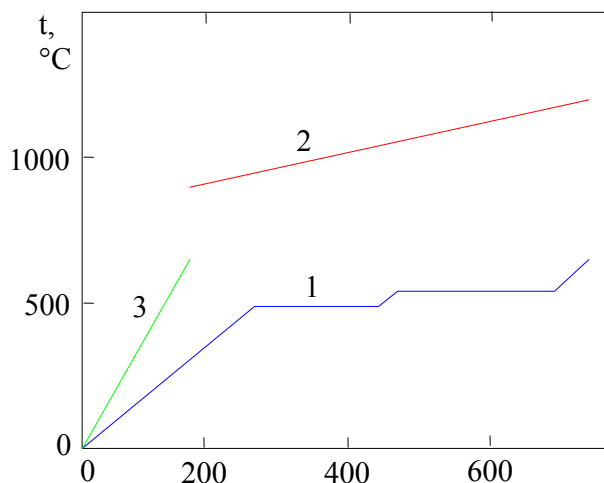


Рис. 2. Температурно-тепловой график обработки сидеритовой руды (вариант 2):  
1 – линия нагрева сидеритовой руды;  
2 – линия охлаждения кокса; 3 – линия охлаждения отходящих газов при регенерации

Первый вариант заключается в подаче в форкамеру УСТК сидеритовой руды и раскаленного кокса в таком массовом соотношении, при котором термическое обогащение руды протекало бы при расчетных параметрах, а температура кокса снизилась до необходимого уровня. Расчет показал, что одной тонной кокса при его охлаждении с  $1200^{\circ}C$  до  $900^{\circ}C$  можно обжечь 0,437 т сидеритовой руды. При этом теплотребление технологического материала составит 569 кДж, а продуктами процесса являются отходящие газы и технологический материал с температурой  $650^{\circ}C$ .

Второй вариант заключается в предварительном нагреве сидеритовой руды, перед её подачей в форкамеру УСТК. В качестве греющего теплоносителя выступает теплота отходящих из УСТК газов, образующихся в процессе декарбонизации технологического материала. В этом случае, одной тонной кокса при его охлаждении можно обжечь 0,523 т сидеритовой руды. При этом теплотребление технологического материала составит 715 кДж.

Использование регенеративной схемы предварительного подогрева сидеритовой руды позволит увеличить ее массу на 0,097 т, что составит более 18 % без дополнительных затрат энергетических ресурсов.

Альтернативным направлением использования теплоты кокса может стать направление по обжигу известняка, который так же, как и сидеритовые руды, обжигается по автономной теплотехнологии с затратами природного газа.

Расчеты показывают, что применение тепловой схемы с регенеративным использованием теплоты, образующихся при декарбонизации известняка, отходящих газов, позволит получить известь в количестве 0,101 т при охлаждении тонны горячего кокса.

Таким образом, введение обожженных сидеритовых руд в металлургический комплекс позволит расширить их долю с 10% (около 0,180 т на тонну чугуна) до 30% (0,523 т), а обжиг известняка позволит снизить энергоемкость металлургической продукции более чем на 100 кг у.т. с учетом снижения энергоемкости в аглококсоδοменном комплексе.

Для предприятия с годовым объемом около 10 млн т стали в год это означает потенциальную экономию энергии до 1 млн т у.т., что при нижней границе стоимости 2000 руб./т у.т. может дать годовую экономию до 2 млрд руб.

Таким образом, разработка энергоэффективных направлений использования теплоты кокса открывает возможности широкомасштабного энергосбережения в теплотехнологии черной металлургии.

#### *Библиографический список*

1. Куперман Л.И., Романовский С.А., Сидельковский Л.Н. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологические комплексы в промышленности. Киев: Вища школа, 1986. 303 с.
2. Запарнюк М.Н., Нешпоренко Е.Г. Термодинамический анализ схем движения дымовых газов в процессе обжига сидерита // Энергетики и металлурги настоящему и будущему России: материалы 14-й Всерос. науч.-пркт. конф. студентов, аспирантов и специалистов/ под общ. ред. Е.Б. Агапитова. Магнитогорск: МГТУ, 2013. С.149-150.
3. Гордеева И.С., Нешпоренко Е.Г. Использование вторичного тепла для аглококсоδοменного комплекса для производства извести // Энергетики и металлурги настоящему и будущему России: Материалы 14-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов / под общ. ред. Е.Б. Агапитова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С. 164-165.

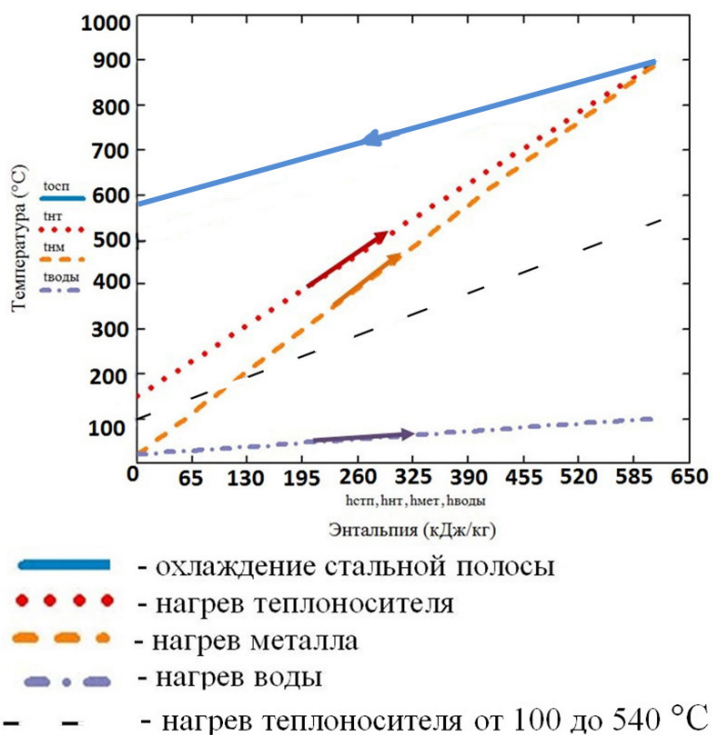
## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ГОТОВОГО СТАЛЬНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА**

*Захаров Р.В., Матвеев С.В., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
zaharovrom@gmail.com*

Производство стали – энергозатратный процесс. На каждом этапе производства присутствуют процессы со значительными тепловыми потерями. Одним из таких этапов является горячая прокатка. Известно, что готовый лист после чистовой клети охлаждается водой с 900 °С до 590 °С (температура смотки готового листа в рулон) [1]. Порядка 200 МДж тепловой энергии с каждой тонны проката теряется в окружающую среду на уровне 100 °С с охлаждающей водой. Вода, как теплоноситель, ограничена этой температурой в прокатном производстве из-за своих физических свойств.

Был рассмотрен вариант замены воды на высококипящие теплоносители и организация их работы в области температур до 540 °С с дальнейшей генерацией электрической энергии [1].

В данной работе основной целью является использование теплоты готового проката по принципу технологической регенерации.



трубопроводов, приведенные в специальной инженерной литературе, например в [1, 2], диаметры применяемых трубопроводов в которых обычно ограничены 100 мм, а влияние одного цилиндра на другой при определении теплоотдачи учитывается эмпирически определенным коэффициентом. Данные коэффициенты найдены для фиксированного расстояния между трубами. На практике гладкотрубные регистры не являются стандартным изделием заводского изготовления, и поэтому часто их конструируют на месте. При этом используются конструкции из трубопроводов большего чем 100 мм диаметра, и расстояние между трубопроводами может быть различным, в том числе зависеть от места установки прибора. Кроме того, отсутствуют данные о характеристиках конвективного течения, возникающего над таким прибором, в то время как этот вопрос весьма актуален при решении вопроса о защите помещения от ниспадающих вдоль наружных ограждений (окон, стен) токов холодного воздуха.

Все это приводит к применению приблизительных методик расчета, а также не учету многих важных факторов, и в итоге к неверному определению необходимой площади нагрева отопительных приборов, и соответственно либо к удорожанию системы и перерасходу тепловой энергии, либо к невыполнению нормативных требований по обеспечению микроклимата на рабочем месте.

Аналитическое решение такой задачи чрезвычайно затруднено, поскольку течение, возникающее над отопительным прибором, турбулентно. Натурный эксперимент ограничен, с точки зрения затрат материальных ресурсов, при создании большого количества моделей, а также с точки зрения погрешностей при проведении измерений. Всех этих недостатков лишен численный эксперимент, позволяющий при помощи вычислительного комплекса смоделировать большое количество геометрически разных вариантов, а также провести подробное изучение полей необходимых параметров – скорости, давления, температуры и т.д. Основной проблемой при численном моделировании является верификация численной схемы решения – набора математических и физических моделей, граничных и начальных условий, использование которых приводит к наиболее адекватному результату. Обычно верификация состоит в решении аналогичной, но более простой и поэтому более досконально и достоверно исследованной задаче, и дальнейшем сравнении получаемых результатов с известными данными.

В работе численно решается задача о свободно-конвективном течении и теплоотдаче одиночного горизонтального цилиндра, расположенного в неограниченном пространстве. Задача решается в турбулентной постановке при помощи расчетного комплекса, реализующего методы вычислительной гидродинамики (ВГД, CFD) – Ansys Fluent.

Исследуется влияние используемых при решении моделей турбулентности и пристеночных функций на теплоотдачу одиночного горизонтального цилиндра. Было проведено решение ряда вариантов задач с использованием разного сочетания моделей турбулентности и пристеночных функций, имеющихся в распоряжении у комплекса Fluent.

Задача решается в плоской постановке, расчетная область представляет собой прямоугольник шириной 2 м, и высотой 4 м, в котором по ширине – посередине, и на высоте 1 м расположена окружность диаметром 108 мм, модели-



рующая нагретый цилиндр. Границы области проницаемы как для течения воздуха, так и для излучения от цилиндра. Окружность моделируется как непроницаемая твердая стенка, на которой задан равномерный тепловой поток  $q=1000 \text{ Вт/м}^2$ . Для учета излучения использовалась модель «Дискретных ординат».

Для сравнения получаемых результатов использовалась известная критериальная зависимость для теплоотдачи горизонтального цилиндра [3]:

$$\overline{Nu}_{кр} = 0,47 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \text{ при числах } 10^4 < Ra < 10^9.$$

Здесь необходимо отметить, что нужно различать режим течения непосредственно в погранслое, который определяет теплоотдачу от трубы и может быть как ламинарным, так и турбулентным, и течение в струе, которое при обычных размерах, встречающихся в практике строительства и проектирования отопления и вентиляции зданий, практически всегда имеет турбулентный характер.

На первом этапе, путем последовательного измельчения сетки проводилось обеспечение сеточной независимости, т.е. независимости получаемых результатов от мелкости расчетной сетки. Для этого был решен ряд задач с последовательным измельчением сетки во всей расчетной области и уменьшающимися к центру столбцами (от размеров минимальной ячейки  $\sim 2 \text{ мм}$ , до  $\sim 0,1 \text{ мм}$ ) для лучшего разрешения области, в которой развивается основное течение, а затем в области максимального изменения параметров – вокруг цилиндра (до размеров ячейки  $\sim 0,01 \text{ мм}$ ). При этом контролировалась осевая продольная скорость конвективного течения, а также коэффициент теплоотдачи. Отличие этих параметров в двух последних задачах (на максимально мелкой сетке) не превышало 0,8 % для осевой скорости и 3,5 % для коэффициента теплоотдачи.

Далее с использованием найденной сетки проводился расчет вариантов сочетания различных моделей турбулентности и пристеночных функций. Вычислительный комплекс Fluent дает возможность применять различные модели турбулентности, из наиболее универсальных это три разновидности k-ε модели: “Standard”, “RNG”, “Realizable” и три варианта пристеночного моделирования – “Standard Wall Functions” (SWF), “Nonequilibrium Wall Functions” (NWF), “Enhanced Wall Treatments” (EWT). При решении выяснилось, что использование расширенного пристеночного моделирования (EWT) и “Realizable” разновидности модели турбулентности не приводит к сходящемуся решению, т.е., по-видимому, требует более точной настройки параметров математического алгоритма итерационного процесса. Поэтому в данной работе результаты получены только для двух разновидностей пристеночных функций – стандартных (SWF) и неравновесных (NWF) и k-ε модели турбулентности – “Standard” и “RNG”.

В результате решения задач находилась средняя по поверхности температура стенки цилиндра  $t_{cm}$ , которая затем использовалась для определения числа Рэлея (Ra):

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta (t_{cm} - t_{\infty}) \cdot d^3}{\nu \cdot a},$$



здесь  $Gr$  и  $Pr$  – критерии Грасгофа и Прандтля;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\beta$ ,  $\nu$ ,  $\alpha$  – коэффициенты расширения, кинематической вязкости и теплопроводности воздуха (взяты при температуре погранслоя);  $t_\infty$  – температура подтекающего воздуха;  $d$  – диаметр трубы. Кроме этого из решения находится лучистая составляющая теплового потока  $Q_\lambda$ , что позволяет определить и конвективную долю  $Q_\kappa$ , а значит и средний критерий Нуссельта:

$$\overline{Nu}_{Fl} = \frac{Q_\kappa \cdot d}{F(t_{cm} - t_\infty) \cdot \lambda},$$

здесь  $F$  – площадь поверхности цилиндра;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха.

Далее в таблице приведены значения относительной разницы величины критерия Нуссельта, определенного по критериальной формуле ( $\overline{Nu}_{кр}$ ) и численно

| Вариант решения   |     | $\Delta \overline{Nu}$ , % |
|-------------------|-----|----------------------------|
| k-ε<br>“Standard” | SWF | 0,97                       |
|                   | NWF | -23,28                     |
| k-ε “RNG”         | SWF | 1,30                       |
|                   | NWF | -25,42                     |

ленно

$$(\overline{Nu}_{Fl}): \Delta \overline{Nu} = 100\% \cdot (\overline{Nu}_{кр} - \overline{Nu}_{Fl}) / \overline{Nu}_{кр}.$$

Видно, что наиболее близкие результаты дает использование стандартных пристеночных функций.

#### Библиографический список

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 1. Отопление / Под ред. И.Г. Старовойтова и Ю.И. Шиллера. 4-е., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. 344 с.
2. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Кн. 1. Отопление и теплоснабжение / Р. В. Щекин и др. Киев: Будивельник, 1976. 416 с.
3. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / Х. Уонг: Пер. с англ. / Справочник. М.: Атомиздат, 1979. 216 с.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В МЕСТНОМ ОТСОСЕ В ВИДЕ КРУГЛОГО РАСТРУБА

Зиганшин А.М., Хакимзянов Р.Р.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

amziganshin@kgasu.ru

В системах вентиляции, и, в частности, в местной вытяжной вентиляции затрачивается большое количество энергии на перемещение воздуха по каналам. Большая доля этих затрат приходится на преодоление местных сопротивлений возмущающих элементов в сети, и в том числе сопротивление, возникающее на входных участках. При подтекании воздуха к местному отсосу происходит отрыв потока с его острых кромок и образование вихревых зон и являющихся основной причиной потерь давления. Знание характеристик течения возникающего вблизи отсоса, а также очертаний вихревых зон позволит конструировать входные участки местных отсосов с пониженным коэффициентом местного сопротивления.

В представленной работе численно смоделировано течение к круглому (осесимметричному) раструбу. Для правильного моделирования течения в вихревой зоне, и канале после раструба задача решается в турбулентной постановке. При решении используется наиболее универсальная k-ε модель турбулент-

ности, в сочетании со стандартными пристеночными функциями. На рис. 1 приведена половина расчетной области, а также характерные линии тока. Здесь  $AB$  – граница, через которую воздух удаляется,  $BCDE$  – проницаемые границы,  $AE$  – ось симметрии,  $BFG$  – непроницаемые стенки раструба. На рисунке видна отрывная зона, образующаяся у острой кромки раструба  $G$ .

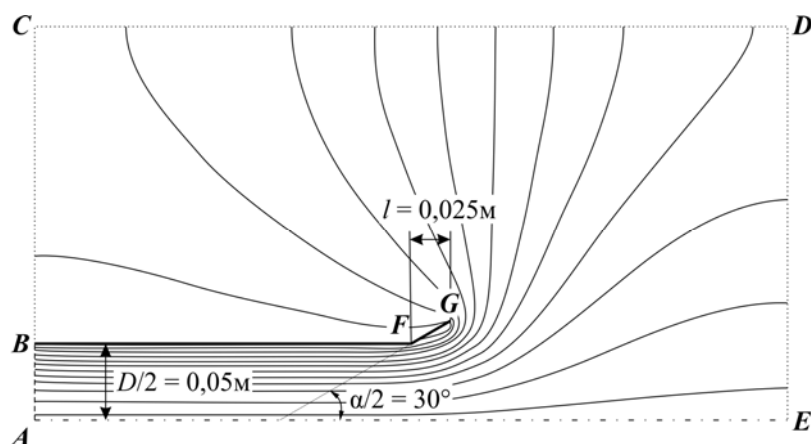


Рис. 1. Геометрия расчетной области и линии тока течения

Для получения достоверного результата важно предварительно провести исследование на сеточную зависимость, т.е. зависимость получаемых результатов от мелкости расчетной сетки. В качестве харак-

терной контролируемой величины было выбрано распределение среднего по сечению полного давления.

Измельчение сетки производилось сначала по всему раструбу (до сетки № 4), и затем вдоль твердых границ – стенок раструба для лучшего разрешения области развития пограничного слоя. Такая мелкая сетка была принята в связи с указанием в руководстве к программе [1] о том, что безразмерный параметр, характеризующий мелкость сетки в пристеночной области  $y^*$ , должен быть около единицы. Обычно при проведении подобного исследования ожидается плавное изменение контрольных параметров при решении задач на все более мелких сетках, причем изменение параметров от задачи к задаче уменьшается. За окончательную сетку принимается та, при которой получено решение, незначительно отличающееся (обычно принимается некоторый малый процент отличия) от полученного на предыдущей (более грубой) сетке. Значения безразмерного параметра  $y^*$ , размер минимальной ячейки расчетной области и другие параметры для каждой решенной задачи приведены в таблице.

| №  | Характеристики сетки, мм/шт. |                  |            | Контрольный параметр |
|----|------------------------------|------------------|------------|----------------------|
|    | Размер мин. яч.              | Размер макс. яч. | Кол-во яч. |                      |
| 0  | 3,8462                       | 5,3846           | 5252       | $y^*_{\max}=601,6$   |
| 1  | 1,9231                       | 2,6923           | 21008      | $y^*_{\max}=482,33$  |
| 2  | 0,9615                       | 2,6923           | 63410      | $y^*_{\max}=245,48$  |
| 3  | 0,4808                       | 2,6923           | 167948     | $y^*_{\max}=117,55$  |
| 4  | 0,2404                       | 2,6923           | 386810     | $y^*_{\max}=117,72$  |
| 5  | 0,1202                       | 2,6923           | 396824     | $y^*_{\max}=66,95$   |
| 6  | 0,0601                       | 2,6923           | 416846     | $y^*_{\max}=36,45$   |
| 7  | 0,0300                       | 2,6923           | 456884     | $y^*_{\max}=18,84$   |
| 8  | 0,0150                       | 2,6923           | 536954     | $y^*_{\max}=9,6$     |
| 9  | 0,0075                       | 2,6923           | 617018     | $y^*_{\max}=5,5$     |
| 10 | 0,0038                       | 2,6923           | 777152     | $y^*_{\max}=3,42$    |
| 11 | 0,0019                       | 2,6923           | 1097414    | $y^*_{\max}=2,17$    |
| 12 | 0,0009                       | 2,6923           | 1737932    | $y^*_{\max}=1,34$    |

На рис. 2 показано семейство линий, описывающих изменение полного давления по длине раструба в зависимости от измельчения сетки. Виден участок зоны влияния (ЗВ) возмущающего элемента, простирающийся от начала раструба ( $x = 0,25$  м) до  $\sim 0,23$  м, и далее следует участок линейного падения давления, связанного с трением. Также имеется участок, характер падения давления на котором связано с «граничным» эффектом – влияние граничного условия на выходной границе. Однако здесь нет ожидаемого поведения изменения полного давления при измельчении расчетной сетки – постепенное уменьшение отличия линий при измельчении сетки.

Совместный анализ размеров сетки и характера падения давления на участке после ЗВ ВЭ показывает что, до значений безразмерного параметра, характеризующего качество сетки в пристеночной области  $y^* \sim 118$  и размера минимальной ячейки  $\sim 0,2$  мм происходит уменьшение давления по всей области раструба (без изменения характера кривой распределения полного давления). При дальнейшем измельчении сетки характер кривой падения давления начинает меняться – увеличивается угол кривой (т.е. увеличивается удельное падение давления) до значений  $y^* \sim 9,6$  и мелкости сетки  $\sim 0,015$  мм (сетка № 8). При дальнейшем измельчении сетки (№ 9-12) угол кривой начинает уменьшаться, т.е. удельное падение полного давления уменьшается.

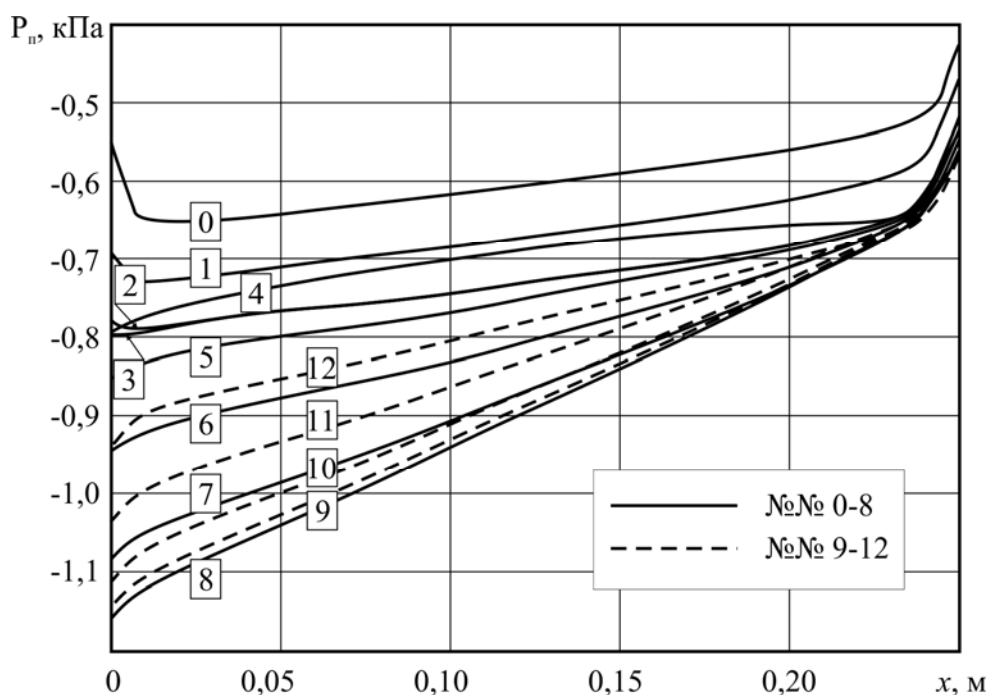


Рис. 2. Изменение полного давления по длине канала с раструбом

Такой же нерегулярный характер изменения при измельчении сетки наблюдается и у рассчитанного по результатам численного решения коэффициента местного сопротивления (КМС). Кроме того минимальное отличие получающегося КМС от известного [2] составляет 32 %.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что принятые для решения этой задачи, наиболее часто используемые, стандартная  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности в сочетании со стандартными пристеночными функциями, при исследо-

ванном диапазоне размеров ячеек расчетной сетки не позволяют получить достоверное и адекватное решение.

*Библиографический список*

1. ANSYS FLUENT 6.3 Documentation / 12.10.2 Standard Wall Functions. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node512.htm> (дата обращения: 22.11.2013).
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЭЦ

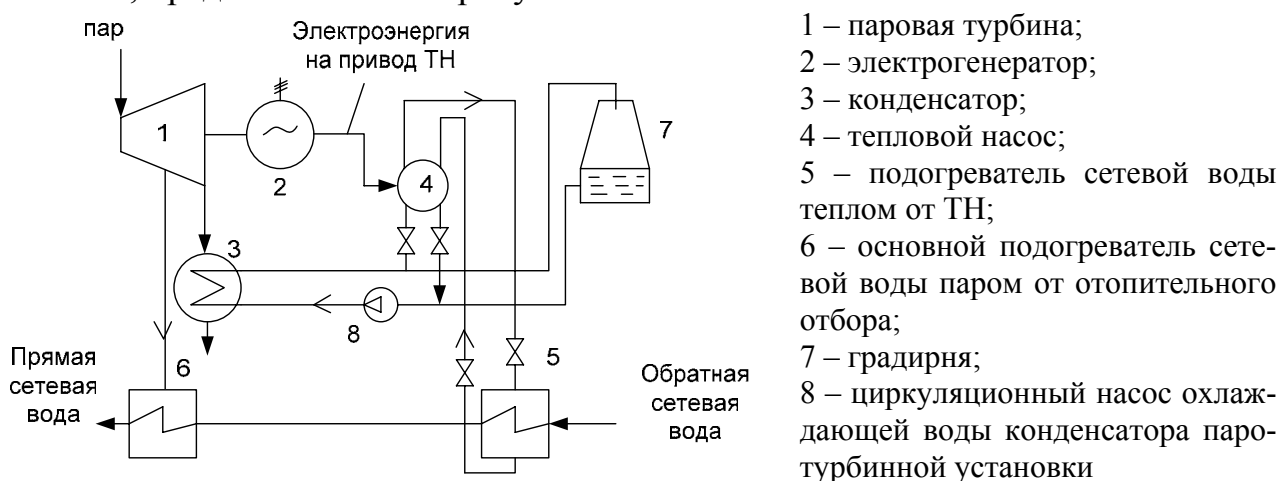
*Зубов Д.И., Суворов Д.М.*

*Вятский государственный университет, г. Киров*

*Daniil.Zubov@bk.ru*

Быстрый темп застройки городских территорий требует от существующих источников электрической и тепловой энергии соответствующего увеличения мощностей. Ввиду ограниченности средств и сроков, необходима разработка мероприятий, которые при минимальных затратах дадут необходимый эффект. Одним из путей модернизации ТЭЦ может стать использование теплонасосных установок (далее ТНУ) [1-3].

Принцип работы теплового насоса состоит в преобразовании теплоты, полученной от низкопотенциального источника, в более высокопотенциальную и использовании ее для нагрева среднетемпературной среды. Самым очевидным источником большого количества низкопотенциальной теплоты является теплота охлаждающей циркуляционной воды (выходящей из конденсатора). Использовать полученную на выходе из теплового насоса тепловую энергию можно для предварительного подогрева обратной сетевой воды, как показано на схеме, представленной на рисунке.



Предполагается, что данная схема будет использовать электроэнергию, производимую в часы провала суточного графика нагрузки непосредственно на ТЭЦ, для дополнительного производства тепла с помощью тепловых насосов и, соответственно, снижения нагрузки пиковых котлов. Кроме того, данное реше-

ние будет целесообразно только в случае, когда турбина ТЭЦ уже работает с минимально допустимым пропуском пара в конденсатор. Ещё одним случаем, когда такая схема может быть эффективна, можно считать ситуацию, когда необходимо увеличение тепловой мощности станции без установки дополнительных пиковых котлов или расширения ТЭЦ за счёт дополнительных энергоблоков. Кроме этого, ТНУ, помимо утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты, позволяет: увеличить теплоперепад пара в турбине и тем самым повысить выработку электроэнергии, уменьшить расход прокачиваемой технической воды, соответственно снизив мощность циркуляционного насоса, установить оптимальные вакуум и температуру технической воды в конденсаторе в любое время года, снизить размер отчислений в экологический фонд за отбор свежей воды из рек и за исключение сброса низкопотенциальной теплоты.

Однако расчёты показали, что идея использовать парокompрессионную теплонасосную установку, привод которой планировалось обеспечить за счёт дополнительной выработки при снижении вакуума в конденсаторе при дополнительном охлаждении циркуляционной воды, энергетически неосуществима. Причина состоит в том, что снижение температуры циркуляционной воды не обеспечивает достаточного снижения вакуума для выработки достаточного количества энергии для привода ТНУ (соотношение примерно 0,3, снижаемых к 1 необходимому Кельвину по изменению температуры). Возможно, проблему можно решить с помощью использования абсорбционной теплонасосной установки или теплонасосной установки с тепловым приводом.

Кроме циркуляционной воды в качестве низкопотенциального источника можно использовать обратную сетевую воду, а полученную высокопотенциальную теплоту можно использовать для теплоснабжения, допустим, нового микрорайона по отдельному контуру, вместо того, чтобы устанавливать новые турбо- или котлоагрегаты. При этом также на ТЭЦ вырастут отпуск теплоты на базе теплофикационных отборов, выработка электроэнергии на тепловом потреблении и несколько возрастает количество сжигаемого топлива. Наиболее выгодным будет применение в таких схемах тепловых насосов с приводом от теплового двигателя (с использованием отходящих от него тепловых потоков) или абсорбционных.

На сегодняшний день на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» реализован лабораторный стенд по апробации использования схем использования тепловых насосов в энергетике. По результатам проведённых там испытаний подтверждена возможность передачи сбросной теплоты циркуляционной воды конденсатора турбины (при ее температуре 25...30 °С) в обратную тепло-магистраль теплосети (при температуре обратной сетевой воды 45...50 °С) с достаточно высоким коэффициентом преобразования ( $K_{ТНУ} = 4,5$ ) [1].

#### *Библиографический список*

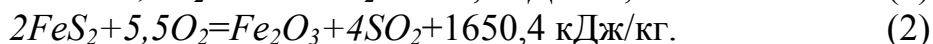
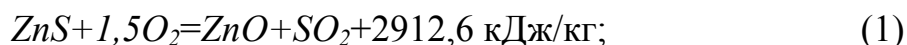
1. Девянин Д.Н., Соколов Ю.Н. Разработка и испытание на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» лабораторного стенда по апробации схем использования тепловых насосных установок в энергетике // Новости теплоснабжения. 2000. № 1.
2. Мартыновский В.С. Тепловые насосы. М. - Л.: Госторгиздат, 1955. 192 с.
3. Шпильрайн Э.Э. Возможность использования теплового насоса на ТЭЦ // Теплоэнергетика. 2003. № 7. С. 54.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОГО РЕАГИРОВАНИЯ ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТА С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА NETZSCH 449C

Ивакина С.А., Мунц В.А.  
УрФУ, svetlana-ivakina@mail.ru

С целью повышения эффективности печи кипящего слоя для обжига цинковых концентратов экспериментальным путем были определены кинетические константы горения шихты, а именно: энергия активации  $E_a$ , предэкспоненциальный множитель  $k_0$ , а также константа скорости химического реагирования  $k$ . Обжиг шихты необходим для максимального перевода сульфидов металлов в их оксиды для более полного извлечения цинка и других полезных компонентов.

Источником получения цинка является рудное сырье, которое обычно находится в сульфидном состоянии, а цинк представлен преимущественно сфалеритом  $ZnS$  и пиритом  $FeS_2$ . При его обжиге происходят экзотермические реакции:



Были проведены 3 изотермических эксперимента при температурах 700, 800 и 900 °С на приборе синхронного термического анализа NETZSCH 449C, совмещенного с масс-спектрометрической системой, предназначенной для качественного и количественного анализа компонентов газовой смеси. Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

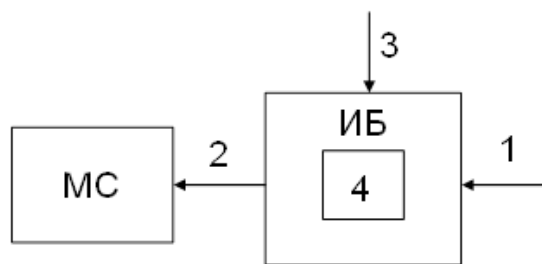


Рис. 1. Схема лабораторной установки:  
1 – продувочный газ (аргон или воздух);  
2 – продукты сгорания;  
3 – защитный газ (аргон); 4 – шихта;  
МС – масс-спектрометр;  
ИБ – измерительный блок

В тигель помещали навеску массой 15 мг. Нагрев образца, помещенного в печь, происходил со скоростью 25 К/мин в среде аргона. В данный период наблюдалась убыль массы в пределах 5 % за счет возможного реагирования с остаточным кислородом в инертном газе и объеме печи. На втором сегменте температурной программы после достижения изотермических условий проводилось переключение газа-реагента на воздух. Непрерывно измерялась масса навески и относительная концентрация газовых компонентов. Реакции (1) и (2) идут с уменьшением массы твердого вещества, которое в зависимости от состава

ва исходной шихты колеблется в диапазоне от 11 % до 17 %. Убыль массы навески в зависимости от времени при  $t=900\text{ }^{\circ}\text{C}$  представлена на рис. 2.

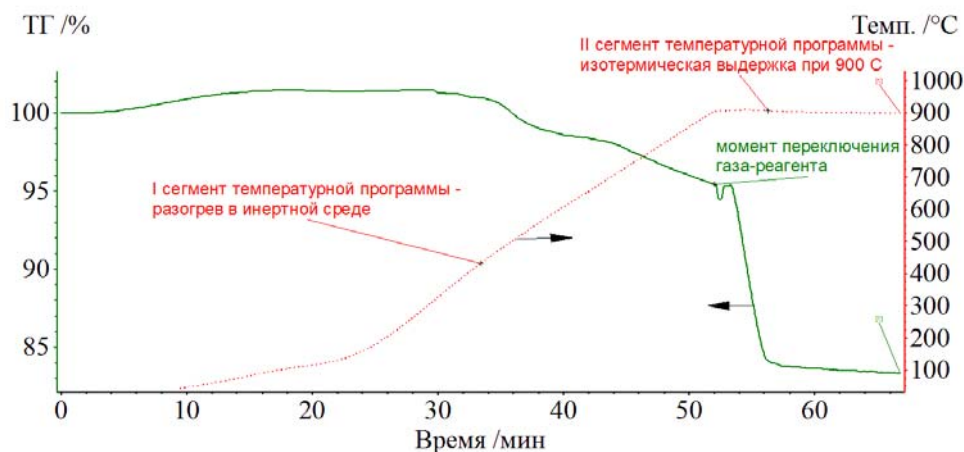


Рис. 2. Термогравиметрическая кривая убыли массы навески при взаимодействии с кислородом воздуха ( $t = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

При температурах 800 и 900 °C наблюдалась высокая скорость реакций окисления, а при более низкой температуре – 700 °C скорость падала в два раза за счет протекания других реакций.

Константу скорости химического реагирования определяли по формуле:

$$k = \frac{\xi}{\nu} \cdot \frac{m_0 \cdot d(m/m_0)}{C_{O_2} \cdot f \cdot d\tau} \quad (3)$$

Здесь  $\frac{d(m/m_0)}{d\tau}$  – убыль массы навески со временем, определяемая экспериментально, 1/с;  $m_0$  – начальная масса частицы шихты, кг;  $C_{O_2}$  – концентрация кислорода в дутье, кг/м<sup>3</sup>;  $f$  – начальная площадь поверхности частицы, м<sup>2</sup>;  $\nu_i$ ,  $\xi_i$  – стехиометрические коэффициенты;  $k$  – эффективная константа скорости химического реагирования, м/с.

Выполнив соответствующие расчеты, построена зависимость логарифма константы скорости окисления цинкового концентрата от обратной температуры (рис. 3).

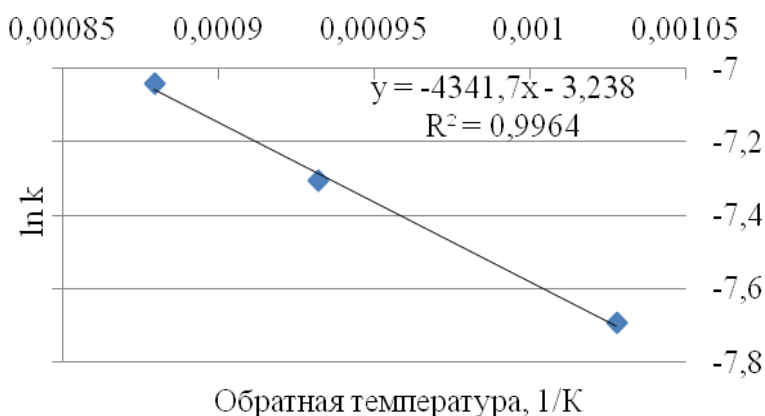


Рис. 3. Зависимость логарифма константы скорости окисления цинкового концентрата от обратной температуры

По данным аппроксимации, представленной на рис. 3, была рассчитана энергия активации и предэкспоненциальный множитель.

Величина предэкспоненциального множителя составила:

$$k_0 = \exp(-3,238) = 0,039 \text{ м/с.}$$

Из уравнения  $y = -4341,7 \cdot x - 3,4447$  определен тангенс угла наклона прямой: при  $x = 0$ ,  $y = -3,4447$ ; при  $y = 0$ ,  $x = -\frac{3,238}{4341,7} = -7,6 \cdot 10^{-4}$ . Тогда тангенс угла

наклона прямой равен  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{E}{R} = \frac{3,238}{7,6} \cdot 10^4 = 4341,7$ .

Энергия активации равна:  $E_a = 4341,7 \cdot 8,314 = 36100 \text{ кДж/кмоль}$ .

Таким образом, расчетная формула константы химического реагирования цинкового концентрата в зависимости от температуры кипящего слоя принимает вид:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) = 0,039 \cdot \exp\left(-\frac{36100}{8,314 \cdot T}\right) \text{ м/с.} \quad (4)$$

Сопоставление рассчитанных данных (линия) по формуле (4) с данными эксперимента (точки) представлено на рис. 4.

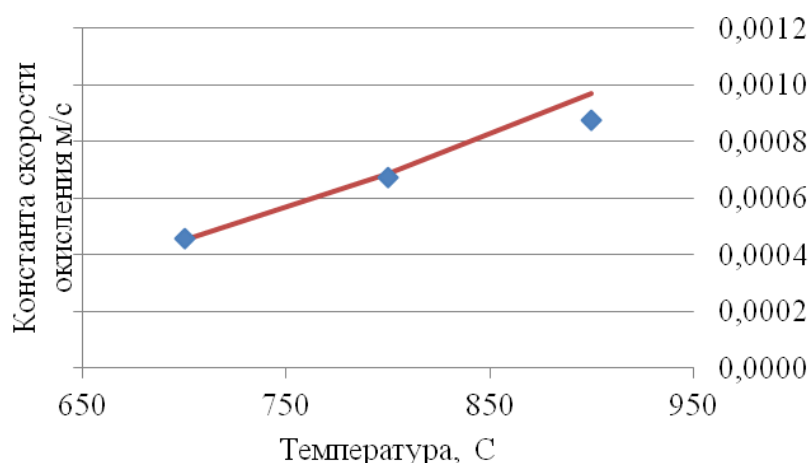


Рис. 4. Сопоставление аппроксимации с экспериментальными данными

В результате проведенных экспериментов были получены данные, которые могут быть использованы в дальнейших расчетах по оптимизации обжига шихты.

Установлено, что полнота обжига цинкового концентрата зависит от следующих параметров: дисперсности состава шихты, скорости дутья, концентрации кислорода в дутье и температуры слоя. Определенное сочетание данных параметров обеспечивает увеличение выхода конечного продукта.

В дальнейших исследованиях планируется получить зависимости константы скорости химического реагирования чистых веществ (сфалерита и пирита) от диаметра частиц и концентрации кислорода в дутье.

## РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Казакбаев В.М., Дмитриевский В.А., Прахт В.А.  
УрФУ, emf2010@mail.ru

В соответствии с планами российского правительства снизить энергоемкость на 40 % к 2020 г., повышение энергоэффективности является одной из самых приоритетных задач для российской экономики. Наибольший потенциал



повышения энергоэффективности содержит в себе возможность увеличения КПД установок электропривода, что являются самым крупным энергопотребителем (более 60 % в промышленности) [1]. По этой причине создание отечественных серийных двигателей, имеющих высокие классы энергоэффективности, согласно требованиям ГОСТ Р 54413-2011 «Машины электрические вращающиеся. Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей (код IE)», становится одной из самых актуальных и приоритетных задач в сфере электромашиностроения.

Асинхронный двигатель (АД) был и остается основой большинства промышленных электроприводов (ЭП) (примерно 82 % по состоянию на 2002 г. [1]). В настоящее время конструкция АД доведена до совершенства: оптимизированы обмоточные данные, изоляционные материалы, источники питания [1]. Таким образом, оставаясь приемлемыми по стоимости, АД могут соответствовать лишь классу эффективности IE2. Создание экономически рентабельного электропривода более высокого IE класса возможно при замене АД синхронным реактивным двигателем (СРД), который, в отличие от АД, не имеет обмотки ротора и связанных с ротором электрических и магнитных потерь [3]. За рубежом в настоящее время уже выпускаются серии энергоэффективных СРД классов IE3 и IE4.

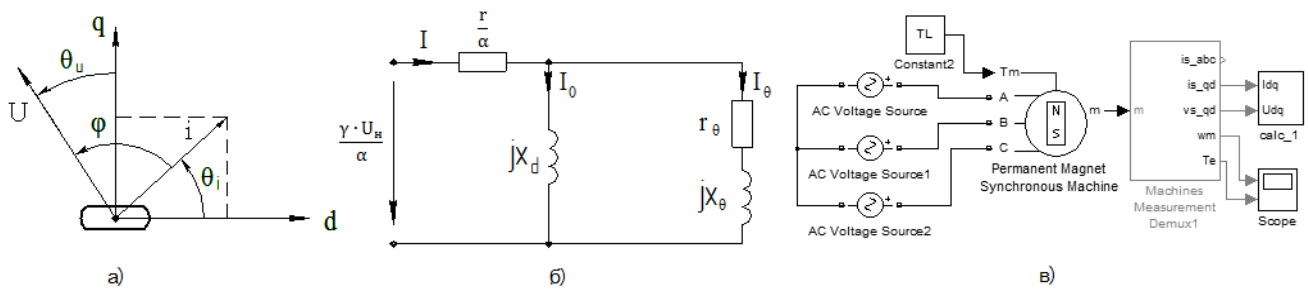
Одной из задач, которые необходимо выполнить для внедрения машин в серийное производство, является разработка инженерной методики их проектирования. На кафедре электротехники и электротехнологических систем УрФУ, в рамках проекта по созданию энергоэффективного СРД [1], ведется разработка методики проектирования СРД мощностью 0,6-50 кВт. В данной статье рассматривается один из аспектов этой методики: применение теории схем замещения к расчету энергетических характеристик СРД.

Для получения уравнений схемы замещения СРД необходимо рассмотреть векторную диаграмму фазы статора синхронной реактивной машины [2, 3]. В дальнейших расчетах распределение обмотки статора принято синусоидальным, а магнитная проводимость сердечника – постоянной. Также были приняты допущения об отсутствии магнитных потерь и индуктивностей рассеяния. Для учета того, что при питании от преобразователя частоты амплитуда и частота напряжения могут изменяться, введем следующие обозначения:  $U_n$  – номинальное фазное напряжение,  $f_n$  – номинальная частота питания,  $U$  – фазное напряжение в расчетном режиме работы,  $f$  – частота в расчетном режиме работы,  $\omega = 2\pi \cdot f$ ,  $\omega_n = 2\pi \cdot f_n$ ,  $\gamma = U/U_n$ ,  $\alpha = f/f_n$ .

Из векторной диаграммы можно определить выражение для комплекса тока фазы статора через напряжение, параметры машины и угол между вектором тока и осью d ротора (угол  $\theta_i$ , см. рисунок а) [2]:

$$\dot{I} = \dot{I}_0 + \dot{I}_\theta = -j \cdot \frac{\dot{U}'}{x_d} + \frac{\dot{U}'}{(x_\theta - j \cdot x_\sigma)}, \quad (1)$$

где  $I_0$  – ток намагничивания;  $I_\theta$  – нагрузочный ток;  $r$  – активное сопротивление фазы статора;  $\dot{U}' = \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \dot{U}_n - \dot{I} \cdot \frac{r}{\alpha}$ ;  $x_\theta = x_q / (1 - x_q / x_d)$ ;  $r_\theta = x_\theta \cdot x_d / x_q \cdot \tan \theta_i$ ;  $x_d = \omega_n \cdot L_d$ ,  $x_q = \omega_n \cdot L_q$  – индуктивные сопротивления статора по осям d и q, соответственно.



а – Векторная диаграмма СРД; б – Схема замещения СРД с параметрами, зависимиыми от угла  $\theta_i$ ; в – SimPowerSystems модель СРД

Выражение (1) соответствует электрической схеме (рисунок б). В этой схеме присутствуют реальные сопротивления машины:  $r$  – в первичной ветви, и  $x_d$  – в ветви намагничивания. Вторичную ветвь составляют фиктивные сопротивления  $r_\theta$  и  $x_\theta$ . Величина  $r_\theta$  зависит от значения угла  $\theta_i$ , характеризующего режим работы двигателя. Мощность, выделяющаяся на активном сопротивлении вторичной ветви равна электромагнитной мощности, которая в реальном двигателе, идет на создание момента:

$$P_{эм} = m \cdot r_\theta \cdot I_\theta^2 = M_{эм} \cdot \omega, \quad (2)$$

где  $m = 3$  – число фаз двигателя,  $M_{эм}$  – электромагнитный момент двигателя.

Покажем далее применение схемы (рисунок б) для расчета СРД с заданными параметрами (параметры двигателя, источника питания и нагрузки даны в табл. 1). Значение угла  $\theta_i$ , необходимое для расчета сопротивления  $r_\theta$  определяется исходя из соотношения:  $\theta_i = \theta_u + \pi/2 - \phi$  (см. (рисунок а)). При этом значение  $\theta_u$  для случая нерегулируемого двигателя определяется из уравнения:

$$M_{эм}(\theta_u) - M_H = 0, \quad (3)$$

где  $M_{эм}(\theta_u)$  – механическая характеристика двигателя, с учетом сопротивления  $r$  [2],  $M_H$  – значение момента нагрузки. Угол  $\phi$  определяется в соответствии с выражением активной мощности, которое можно получить из векторной диаграммы [2]:

$$m \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi = \frac{m \cdot U^2}{r^2 + x_d \cdot x_q} \cdot [r + 0,5 \cdot (x_d - x_q) \cdot \sin(2 \cdot \theta_u)] \quad (4)$$

Таблица 1

Параметры моделируемого привода

| Параметр | R, Ом | Ld, Гн | Lq, Гн | U, В<br>(амплитуда) | f, Гц | Z <sub>p</sub> ,<br>(число пар полюсов) | J, кг·м <sup>2</sup><br>(момент инерции) | M <sub>H</sub> , Н·м |
|----------|-------|--------|--------|---------------------|-------|---|--|----------------------|
| Значение | 2,5   | 0,08   | 0,01   | 200                 | 50    | 1                                       | 0,0001                                   | 10                   |

После определения значения угла  $\theta_i$  схема (рисунок б) может быть рассчитана любым известным методом расчета цепей переменного тока. Для сопоставления с результатами расчета схемы замещения также был проведен рас-

чет по динамической модели с использованием стандартного блока библиотеки SimPowerSystems “Permanent Magnet Synchronous Motor” (рисунок в). При этом поток постоянных магнитов двигателя был принят равным нулю. Результаты расчета обеих моделей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов энергетических параметров СРД

|                     | $\theta_u$ | $\varphi$ | $\theta_i$ | $I, A$ | $\cos \varphi$ | $\eta$ |
|---------------------|------------|-----------|------------|--------|----------------|--------|
| Схема замещения     | 0,011      | 0,8538    | 0,728      | 9,791  | 0,657          | 0,814  |
| Динамическая модель | 0,011      | 0,8538    | 0,728      | 9,791  | 0,657          | 0,814  |

По результатам проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- совпадение значений энергетических характеристик двигателя, полученных при расчете схемы замещения и динамической модели, показывает пригодность описанной схемы замещения для расчета характеристик установившегося режима работы СРД;
- при условии предварительного определения макроскопических параметров схемы замещения (расчетного или экспериментального), данный подход позволяет рассчитывать энергетические характеристики СРД, а также находить аналитические выражения для их определения;
- описанная схема хорошо подходит для расчета характеристик СРД, работающего совместно с преобразователем частоты в замкнутой системе ЭП, поскольку параметры схемы зависят от угла  $\theta_i$ , задаваемого системой управления. Также модель позволяет легко учитывать изменение амплитуды и частоты питающего напряжения;
- все это позволяет применять описанную схему замещения для расчета рабочих и энергетических характеристик СРД на стадии проектирования с целью определения эффективности применяемых решений для достижения высокого класса энергоэффективности двигателя, до изготовления опытного образца.

#### *Библиографический список*

1. Казакбаев В.М., Прахт В.А., Дмитриевский В.А., Дмитриевский А.А., Сафин Н.Р. Энергоэффективные синхронные реактивные двигатели для насосных, вентиляторных и компрессорных приложений // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии ЭКСИЭ – 03: Сборник докладов 3-й международной научно-практической конференции. Екатеринбург, кафедра ЭЭТС УрФУ, 15-17 мая 2013 г. Екатеринбург: УрФУ, С. 148-151.
2. Берлин Е.М. Системы частотного управления синхронно-реактивными двигателями / Е.М. Берлин, Б.А. Егоров, В.Д. Кулик, И.С. Скосырев. Л.: Энергия, 1968. 132 с.
3. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств: учеб. для студентов вузов, обучающихся по спец. “Электромеханика”, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1988. 472 с.
4. Brown G. Developing synchronous reluctance motors for variable speed operation // Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012). 6th IET International Conference on. 27-29 March 2012. P. 1-6.

## КРИТЕРИИ СОПОСТАВЛЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

*Кальнишевский А.В., Радченко Р.В.  
УрФУ, mr.kalnishevsky@outlook.com, rurad@mail.ru*

Недостатком электричества как энергоносителя является невозможность накопления энергии в достаточном количестве. С развитием электроэнергетических систем, ростом мощностей установок, генерирующих энергию, становится все более острой проблема накопления и хранения энергии.

Исправить этот недостаток возможно путем использования накопителей энергии – реверсивных устройств для частичного или полного разделения во времени выработки или потребления энергии. В накопителях энергии осуществляется аккумулярование энергии, получаемой из электроэнергетической системы, ее хранение и выдача при необходимости обратно в энергосистему.[1]

К основным существующим типам накопителей электрической и тепловой энергии можно отнести:

1. Механические системы аккумулярования энергии (гидроаккумулярующие (Pumped hydropower) и газоаккумулярующие станции (Compressed Air Energy Storage ), маховые колеса (Flywheels).
2. Электрические системы аккумулярования (электростатические и индуктивные системы).
3. Химические системы аккумулярования энергии.
4. Тепловые аккумуляторы.
5. Водородные аккумуляторы.

Большое количество типов аккумуляторов энергии, отличающихся характером протекания физических, химических и других процессов, принципом действия, конструктивным исполнением, технологией изготовления и многим другим наряду с возрастающим объемом их применения в различных сферах, создает задачу выбора того или иного типа накопителя, для чего и необходимо обозначить критерии их сопоставления.

Сопоставительный анализ типов накопителей энергии проводят, используя набор параметров, позволяющий достаточно полно охарактеризовать эти устройства:

- осуществимость – существуют ли экспериментальные или промышленные образцы данного типа аккумуляторов энергии;
- удельные капиталовложения на единицу энергоемкости аккумулятора – стоимость единицы энергоемкости. Представляет собой отношение капитальных затрат к технически оптимальной энергоемкости.
- технически оптимальная энергоемкость (предполагаемая или выявленная на основе опыта эксплуатации) является одним из основных показателей при выборе накопителя;
- удельная энергоемкость – отношение энергоемкости накопителя энергии к его объему (энергоемкость накопителя энергии – это максимальная энергия, которую он может аккумуляровать за один цикл заряда наибольшей длительности);
- требования к месту установки;

• коэффициент полезного действия – отношение энергии, отдаваемой накопителем потребителю при разряде (до установленного предела), к энергии, передаваемой каким-либо источником этой энергии накопителю при заряде. Этот критерий является определяющим при выборе накопителя энергии, так как от него зависит величина общего эффекта от установки накопителя;

- номинальное напряжение или ток аккумулятора;
- время работы – максимально возможное время заряда или разряда с заданной мощностью;
- время реверса мощности – время, в течение которого аккумулятор энергии может быть переведен из режима выдачи в режим накопления, и наоборот;
- время хранения энергии – время, в течение которого сохраняется энергия, накопленная в аккумуляторе;
- число циклов работы [1].

Однако все описанные выше параметры позволяют оценить эффективность работы той или иной аккумулирующей установки лишь на основе первого закона термодинамики – баланса энергии, отражающего количественное соотношение между различными видами энергии. При этом не учитываются качественные различия между различными видами энергии и потери энергии в необратимых процессах (диссипативные потери), что делает ограниченным анализ работы установок.

Одним из возможных вариантов сопоставления накопителей энергии является проведение эксергетического анализа. По определению, эксергия – это максимальная работа, которую может совершить термодинамическая система при переходе в состояние равновесия с окружающей средой. Эксергетический анализ учитывает не только количественные, но и качественные характеристики энергоресурсов в различных элементах накопителей энергии, а также необратимость процессов, протекающих в этих элементах и установке в целом [2]. Потери энергии за счет необратимости реальных процессов обуславливают в эксергетическом балансе существенную долю расхода, в то время как при составлении тепловых (энергетических) балансов не могут быть учтены принципиально [2].

Эксергетический анализ эффективности работы энерготехнологических установок позволяет определить наиболее узкие с точки зрения термодинамической эффективности звенья и наметить пути совершенствования оборудования, минимизируя эксергетические потери.

Очевидно, что существующие в настоящее время методы и критерии сопоставления накопителей энергии не отражают полную информацию об экономичности, надежности и преимуществе одного вида накопителя над другим. Предложенный эксергетический метод анализа накопителей энергии может существенно дополнить картину при определении преимущества одного типа аккумулятора над другим, а в современных условиях дефицита энергоресурсов, отрицательного воздействия энергетики на экологию это приведет к увеличению эффективности использования энергоресурсов, повышению надежности

объектов, предъявляющих повышенные требования к надежности поставки электроэнергии и экологии.

*Библиографический список*

1. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах: учеб. пособие для электроэнергет. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1989. 159 с.
2. Белоусов В.С., Ясников Г.П., Морилов А.А. Эксергетические методы анализа термодинамических процессов: Методические указания по дисциплине «Техническая термодинамика». Свердловск: изд. УПИ им. С.М. Кирова, 1985. 27 с.

## **ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДУХА И РАБОЧЕГО ТЕЛА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

*Канчурина В.Ф., Жаркова Ю.Р., Бушуев А.Н.  
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
Оренбургского государственного университета, г. Орск  
viktoria\_949494@mail.ru*

Газотурбинная установка представляет собой двигатель, в котором сгорание топлива происходит непосредственно в рабочем теле цикла, осуществляемого в потоке газа.

В газовую турбину поступают продукты сгорания природного газа под давлением порядка 10-20 атмосфер и при температурах свыше 1000 °С. Коэффициент избытка воздуха в камере сгорания турбины определяется, прежде всего, максимально допустимой температурой рабочего газа перед турбиной и его значение лежит в пределах при 3,0-4,5.

При термодинамическом рассмотрении цикла газотурбинной установки в большинстве расчетов не учитывается изменение массы рабочего тела при сгорании топлива, а также не принимается во внимание происходящее при этом изменение химического состава газа, и все расчеты проводятся по отношению к 1 кг чистого воздуха.

Однако в точных тепловых расчетах данного агрегата с точки зрения авторов недопустимо пренебрегать изменением химического состава рабочего тела и, таким образом, изменением зависимости параметров рабочего тела по сравнению с воздухом.

Наиболее важным параметром рабочего тела при расчете любого энергетического агрегата, в том числе и газотурбинной установки, является, несомненно, энтальпия и коэффициент адиабата.

Произведем сравнение зависимостей данных энтальпии и адиабаты рабочего тела, представляющего собой продукты сгорания природного газа с показателями атмосферного воздуха.

Для термодинамического расчета примем следующий химический состав природного газа в массовых долях:

$$\begin{array}{ll} \text{CH} = 94,2 \% & \text{C}_4\text{H}_{10} = 0,2 \% \\ \text{C}_2\text{H}_6 = 2,5 \% & \text{C}_5\text{H}_{12} = 0,1 \% \\ \text{C}_3\text{H}_8 = 0,4 \% & \text{N}_2 = 2,6 \%. \end{array}$$

Аппроксимируя табличные данные [1,2] зависимости энтальпии воздуха, получаем следующую степенную функцию:

$$I_{\text{в}}(t) = -8,5136 \cdot 10^{-3} + 1,0074 \cdot t - 1,1585 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 2,4207 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 1,9874 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 2,45101 \cdot 10^{-14} \cdot t^5 + 5,6408 \cdot 10^{-17} \cdot t^6.$$

При выбранном составе природного газа может быть рассчитан массовый состав продуктов сгорания при любом коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ . Большинство турбин работают на избытке  $\alpha = 3,0$ , тогда массовый состав будет иметь следующие значения:

$$N_{2\text{газ}} = 74,07 \%;$$

$$O_{2\text{газ}} = 15,11 \%;$$

$$H_2O_{\text{газ}} = 4,23 \%;$$

$$CO_{2\text{газ}} = 5,32 \%;$$

$$Ar_{\text{газ}} = 1,26 \%.$$

Аналогично воздуху могут быть получены зависимости массовых энтальпий основных составляющих компонентов продуктов сгорания природного газа:

$$IN_2(t) = -4,6438 \cdot 10^{-2} + 1,0459 \cdot t - 5,6467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 3,1553 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 2,9363 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 1,3767 \cdot 10^{-13} \cdot t^5 - 3,3444 \cdot 10^{-17} \cdot t^6 + 3,3418 \cdot 10^{-21} \cdot t^7;$$

$$IO_2(t) = 0,1607 + 0,9060 \cdot t + 1,3980 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 6,0220 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 - 1,1863 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 5,8144 \cdot 10^{-14} \cdot t^5 - 3,6175 \cdot 10^{-18} \cdot t^6;$$

$$ICO_2(t) = -4,9287 \cdot 10^{-4} + 0,8166 \cdot t + 5,6954 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 5,2889 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 6,0928 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 - 6,6318 \cdot 10^{-13} \cdot t^5 + 4,9096 \cdot 10^{-16} \cdot t^6.$$

Функциональная зависимость массовой энтальпии газовой смеси продуктов сгорания имеет вид:

$$I_{\text{газ}}(t) = N_{2\text{газ}} \cdot IN_2(t) + O_{2\text{газ}} \cdot IO_2(t) + CO_{2\text{газ}} \cdot ICO_2(t) + H_2O_{\text{газ}} \cdot IH_2O(t) + Ar_{\text{газ}} \cdot IAr(t).$$

Характер изменения соотношения энтальпий продуктов сгорания и воздуха в зависимости от температуры может быть показан функцией  $f(t) = I_{\text{газ}}(t)/I_{\text{в}}(t)$ . График функции показан на рис. 1.

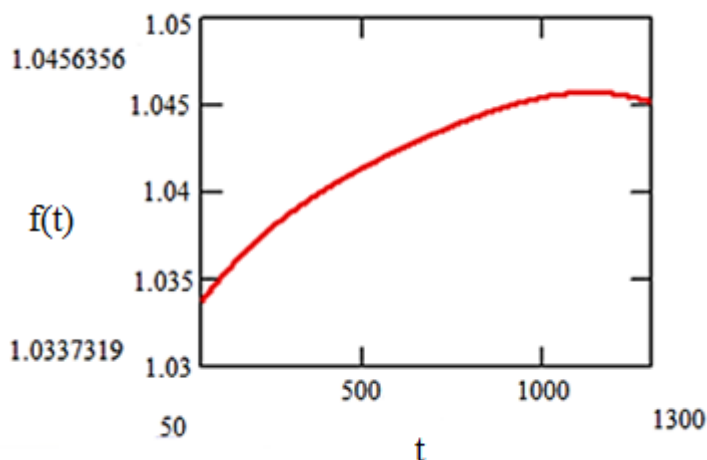


Рис. 1. График соотношения энтальпий продуктов сгорания и воздуха

Из графика видно, что в зоне рабочих температур газовых турбин (900-1300 °С) соотношение энтальпий превышает 1,045, т.е. энтальпия рабочего тела, используемого в газовых турбинах

выше воздуха на 4,5 %. Что говорит о невозможности пренебрежения химическим составом рабочего тела при точных термодинамических расчетах ГТУ.

Температурная зависимость, изобарной теплоемкости газовой смеси определяется выражением:

$$C_p(t) = C_{pO_2}(t) \cdot m_{O_2} + C_{pN_2}(t) \cdot m_{N_2} + C_{pAr}(t) \cdot m_{Ar} + \\ + C_{pCO_2}(t) \cdot m_{CO_2} + C_{pCO}(t) \cdot m_{CO}.$$

Аналогично зависимость изохорной теплоемкости:

$$C_v(t) = C_{vO_2}(t) \cdot m_{O_2} + C_{vN_2}(t) \cdot m_{N_2} + C_{vAr}(t) \cdot m_{Ar} + \\ + C_{vCO_2}(t) \cdot m_{CO_2} + C_{vCO}(t) \cdot m_{CO}.$$

Функциональная зависимость адиабаты газовой смеси может быть представлена:

$$k(t) = C_p(t) / C_v(t).$$

По [1, 2] функциональная зависимость воздуха может быть представлена степенной функцией вида:

$$k_B(t) = 1,4007 - 8,6632 \cdot 10^{-6} \cdot t - 3,4043 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 4,8372 \cdot 10^{-10} \cdot t^3 - 2,6669 \cdot 10^{-13} \cdot t^4.$$

График функции  $\delta(t)$ , представляющий собой отношение зависимости адиабаты продуктов сгорания к зависимости адиабаты воздуха показан на рис. 2.

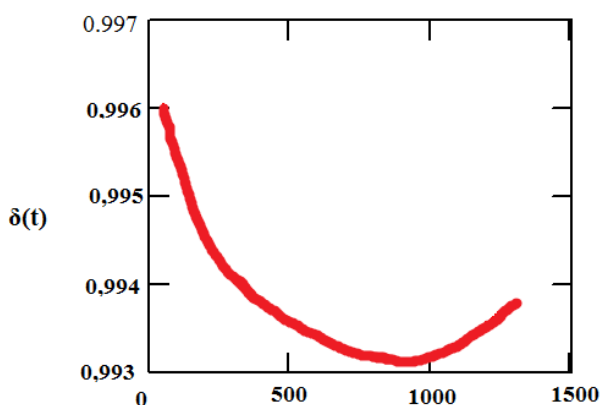


Рис. 2. График соотношения адиабаты продуктов сгорания природного газа к адиабате чистого воздуха

Полученный график четко показывает практическое равенство адиабат продуктов сгорания и воздуха в широком диапазоне температур, поскольку разность не превышает 0,7 %.

В качестве заключения следует отметить тот факт, что немалое расхождение в значениях энтальпий рабочего тела и воздуха даже в оценочных расчетах неизбежно приводит к ошибочной оценке эффективных показателей газотурбинной установки. Данное пренебрежение приведет к неверной временной зависимости расходов топлива и воздуха, подаваемых в камеру сгорания турбины, что также и отразится на несколько повышенной подаче воздуха, следовательно, и приведет к перерасходу электроэнергии на собственные нужды установки.

#### Библиографический список

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1963. 708 с.
2. Термодинамические свойства воздуха. / Сычев В.В., Вассерман А.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А. ГСССД. Сер. монографии. М.: Изд-во стандартов, 1978. 276 с.



# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАТРИЙ-ИТТРИЙ-СИЛИКАТНЫХ/ФОСФАТНЫХ СТЕКОЛ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

*Ковязина И.С.<sup>1</sup>, Саетова Н.С.<sup>1</sup>, Нечаев Г.В.<sup>2</sup>, Власова С.Г.<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>УрФУ, <sup>2</sup>Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН

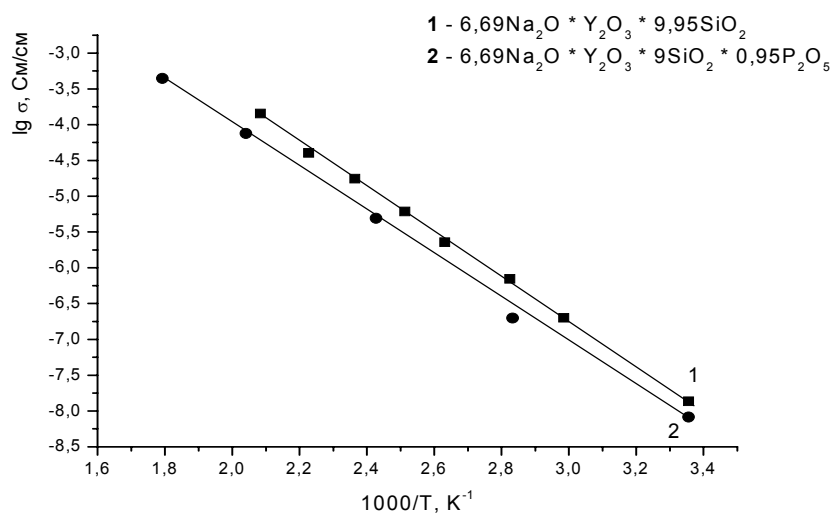
Одной из важнейших задач современных технологий энергосбережения является выравнивание графиков нагрузки в электрических сетях, то есть накопление избыточной электроэнергии в периоды малых нагрузок и передачу ее в электросеть в пиковые периоды. Для успешного решения этой проблемы необходимы эффективные накопители электрической энергии. В настоящее время ряд стран (Япония, США, Корея) применяет электрохимические накопители энергии, представляющие собой батареи натрий-серных аккумуляторов высокой мощности (50 МВт и более). Применение именно натрий-серной электрохимической системы обусловлено тремя основными факторами: высокой энергоемкостью, доступностью и дешевизной электродных материалов, а также легкостью их переработки и регенерации.

В связи с этими требованиями особый интерес вызывают стеклообразные и стеклокерамические твердые электролиты, поскольку стекло и стеклокерамика обладают такими технологическими преимуществами, как более высокая прочность, беспористость, легкость обработки, по сравнению с керамикой. Кроме того, при исследовании стекол существует возможность получения материалов с более высокой проводимостью, чем в кристаллическом состоянии (см., например, [1]).

Нами изучена электропроводность натрий-иттрий-силикатного стекла состава  $37,9 \text{ Na}_2\text{O} - 6 \text{ Y}_2\text{O}_3 - 56,1 \text{ SiO}_2$  (1), а также сходных составов с введением в качестве дополнительных стеклообразователей количеств  $\text{P}_2\text{O}_5$  либо  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  в количестве 5 мольных %. Стекла такого состава представляют интерес как исходный материал для синтеза на их основе композиционных твердых электролитов с высокими электрическими характеристиками, поскольку содержание оксидов натрия, иттрия и кремния в них близко к высокопроводящим натриевым фазам  $\text{Na}_5\text{YSi}_4\text{O}_{12}$  и  $\text{Na}_9\text{YSi}_6\text{O}_{18}$ . Введение добавок  $\text{P}_2\text{O}_5$  либо  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  проводилось с целью снижения тугоплавкости, поскольку стекло базового состава (1) имеет весьма высокую температуру варки (1550-1600 °C).

Синтез стекол всех трех составов проводили в алундовом тигле с последующим отливом заготовки в виде стержня диаметром 10 мм в графитовую форму. Температура отжига выбиралась исходя из температуры стеклования, которую предварительно определяли с помощью ДСК. Электропроводность образцов измеряли методом электрохимического импеданса, а также путем измерения электропроводности образца на постоянном токе с блокирующими электродами.

РФА полученных образцов показал, что введение в состав стекла добавки  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  приводит к появлению в образце кристаллических фаз – ниобата натрия  $\text{NaNbO}_3$ , а также сложных силикатов натрия-иттрия составов  $\text{NaY}_9\text{Si}_6\text{O}_{26}$  и  $\text{Na}_3\text{YSi}_2\text{O}_7$ . Образцы, содержащие оксид фосфора, были рентгеноаморфными.



Температурные зависимости электропроводности стекол исследованных составов

Измерения электропроводности образцов (рисунок) показали, что введение дополнительного стеклообразователя  $\text{P}_2\text{O}_5$  приводит к некоторому снижению электропроводности по сравнению с чистым натрий-иттрий-силикатным стеклом состава (1). Известно, что электропроводность натриевых стекол довольно-го широкого спектра составов возрастает при увеличении содержания оксида натрия [2].

Однако в нашем случае при допировании фосфором содержание оксида натрия в стекле не изменялось, поэтому снижение электропроводности в случае фосфорсодержащего состава вызвано другими причинами. Можно предположить, что фосфатные группировки, встраиваясь в силикатную сетку стекла, увеличивают количество немостиковых ионов кислорода, которые связывают подвижные ионы  $\text{Na}^+$ , тем самым снижая концентрацию носителей тока, и, как следствие, электропроводность стекла.

Энергия активации проводимости достаточно велика и составляет как для чистого иттрий-силикатного стекла, так и для стекла с добавкой фосфора, примерно 90 кДж/моль.

Подводя итог, можно сказать, что значения электропроводности исследованных нами натрий-иттрий-силикатных стекол ( $\sim 10^{-3}$  См/см при  $300^\circ\text{C}$ ,  $10^{-7}$  См/см при  $25^\circ\text{C}$ ) являются одними из наиболее высоких, полученных в настоящее время для стеклообразных натриевых проводников. Высокая электропроводность стекла исследованного состава наряду с достаточно высокой химической стойкостью к действию воздуха и воды позволяет рекомендовать его для изготовления ионообменных мембран и сепараторов электрохимических устройств, работающих при низких и повышенных температурах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 13-03-00341.

#### Библиографический список

1. Nakayama S., Asahi T., Kiyono H., Aung Y.L., Sakamoto M. // J. of Europ. Cer. Soc. 2006. Vol. 26. P. 1605.
2. Hunter C.C., Ingram M.D. // Solid State Ionics. 1984. Vol. 14. № 1. P. 31.

## **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ КОРПУСОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА АЛЮМИНИЯ**

*Козырева Н.Б., Толстова Ю.И.  
УрФУ, ytolstova@mail.ru*

В настоящее время ряд предприятий алюминиевой отрасли России находится на грани остановки и банкротства. В качестве основной причины владельцы холдингов указывают высокую стоимость продукта, что связано с высокими ценами на энергоносители. Рассмотрим возможность снижения энергозатрат в системах приточной и вытяжной вентиляции.

Корпуса электролиза алюминия представляют одно- или двухэтажные здания с размещением основного оборудования (электролизёров) в 2 или 4 ряда. В зависимости от количества установленных электролизёров протяжённость зданий достигает нескольких сотен метров.

Производство алюминия сопровождается выделением соединений фтора, смолистых веществ, пыли и тепловыделениями. Для улавливания вредных веществ электролизёры оборудуются укрытиями, объединёнными системами вытяжной вентиляции. Эффективность укрытий зависит от аэродинамических характеристик и равномерности объёмов удаляемого воздуха [1].

Необходимость очистки удаляемого воздуха требует как можно большей централизации систем вытяжной вентиляции. Например, в корпусе электролиза алюминия Богословского завода имеется 4 системы, обслуживающие 92 электролизёра. Это приводит к увеличению потребления электроэнергии, так как исключается возможность регулирования в соответствии с режимом работы оборудования. Так, согласно многочисленным исследованиям [2], необходимые объёмы удаляемого воздуха зависят от выполняемых технологических операций. Наименьшее количество вредных веществ поступает при наличии корки над рабочим пространством, а максимальное – при обработке (разрушении и удалении корки).

В расчётах воздухообмена используются данные технологического регламента, согласно которым одновременно обслуживается не более 15 % электролизёров. Однако централизованные системы местной вытяжной вентиляции, удаляющие загрязнённый воздух от укрытий, имеют одинаковую производительность независимо от режима работы оборудования. Внедрение автоматики позволило бы повысить эффективность работы укрытий при одновременном снижении потребления электроэнергии.

Другой проблемой корпусов электролиза алюминия является приточная вентиляция. Согласно действующим нормам [3], минимальный воздухообмен рассчитывается на компенсацию местных отсосов с учётом однократного объёма, удаляемого из верхней зоны. Однако в перечне вредных веществ, сопровождающих технологический процесс, имеются вещества, обладающие суммацией действия. В этом случае необходимый воздухообмен увеличивается почти в 3 раза, несмотря на то, что значения фоновых концентраций по данным предприятия не превышают 0,3 ПДК воздуха рабочей зоны. Снижение содержания вредных веществ в приточном воздухе позволило бы уменьшить величину воз-

духообмена, производительность приточных систем и энергозатраты на обработку и транспортирование воздуха.

Приточная вентиляция в корпусах осуществляется с помощью систем механической вентиляции, подающих воздух в проходы между оборудованием снизу через напольные решётки. Дополнительно в корпусах с 4-рядной установкой электролизёров предусмотрены системы, подающие воздух в верхнюю зону над средними проходами. Кроме того, используются аэрационные проёмы в верхней части наружных ограждающих конструкций.

Системы приточной вентиляции, подающие воздух в рабочие зоны корпусов электролиза, прокладываются в подпольных каналах и имеют те же недостатки, что и вытяжные. Не представляется возможным производить регулирование и наладку таких систем в соответствии с режимом технологического процесса.

Проектирование корпусов без учёта работы систем вентиляции приводит к перерасходу энергоресурсов и недостаточной эффективности систем.

Ещё в 60-е годы прошлого века специалистами научно-исследовательских институтов ВАМИ (г. Ленинград) и СНИИГТ и ПЗ (г. Свердловск) была доказана необходимость строительства двухэтажных корпусов и установлено, что при 4-х рядном расположении электролизёров невозможно обеспечить нормируемые условия труда. Теперь же для оживления отрасли нужен индивидуальный подход к каждому объекту вместо того, чтобы закрывать «неэффективные» предприятия.

#### *Библиографический список*

1. Шахрай С.Г. Повышение эффективности вентиляции корпусов электролизного производства алюминия путём совершенствования системы газоотсоса: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2008. 16 с.
2. Чеснокова А.В., Толстова Ю.И. Вентиляция двухэтажных корпусов электролиза алюминия в зимний период года // Расчёт систем отопления и вентиляции: труды ВУЗов России. Свердловск: изд. УПИ, 1976. С. 80-83.
3. Свод правил СП 60.13330.12. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Введён 01.01.2013. М.: Минрегион России, 2012. 80 с.

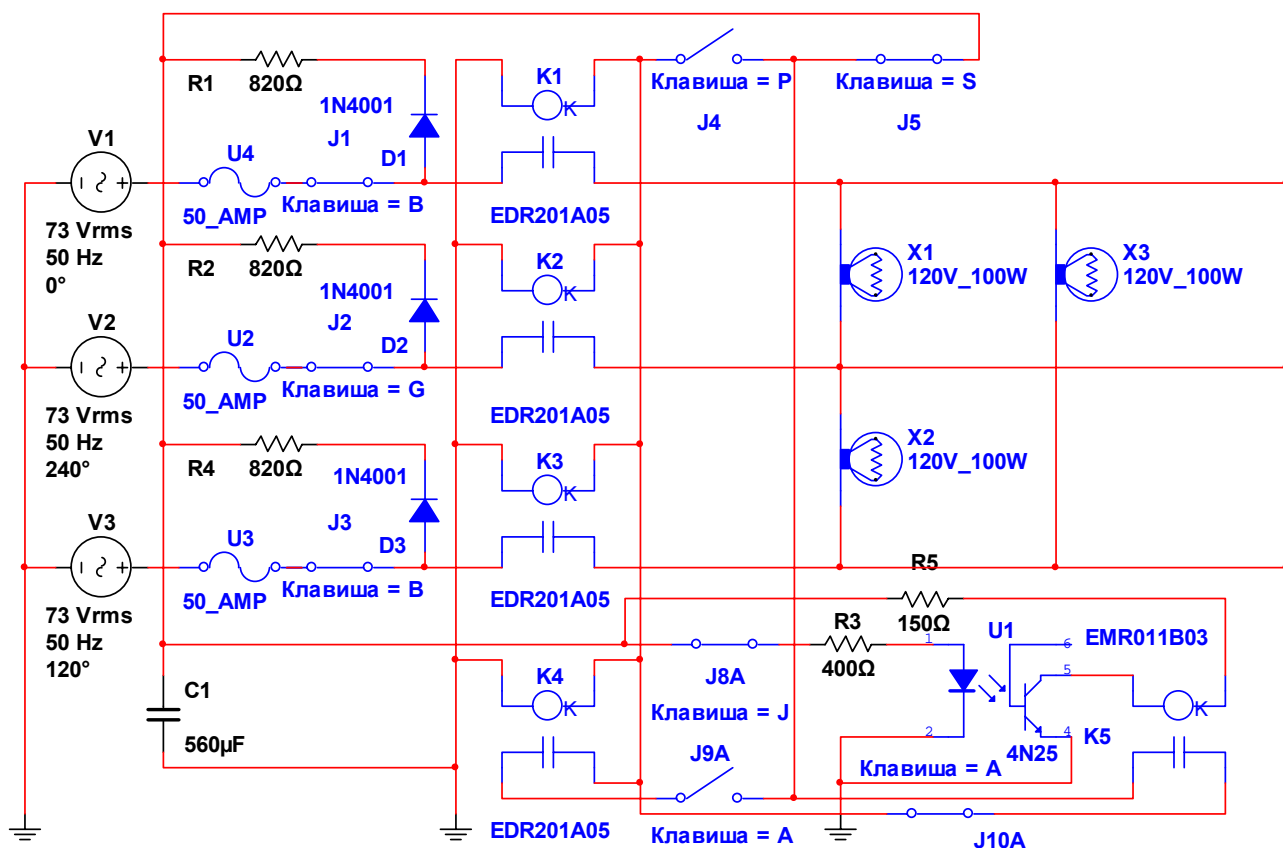
## **ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ**

*Концевич В.А., Лобунец О.Д., Суханова Е.В.  
УрФУ, oleg\_lobunets@mail.ru*

На уличное освещение приходится значительная часть средств, которые расходуются при оплате электроэнергии в городах и других населенных пунктах. Поэтому работа над энергосбережением в устройствах освещения улиц имеет большое значение. При этом, кроме собственно выполнения задачи энергосбережения, эта работа требует подготовки кадров необходимой квалификации, которые могли бы проводить разработку энергосберегающих систем освещения, монтаж и эффективное их использование. С другой стороны, обучение специалистов в последнее десятилетие, как показывает российский и зару-

бежный опыт, все чаще осуществляется на основе электронных образовательных ресурсов, недостаток которых достаточно остро ощущается в учебных заведениях. Разрешению названных проблем и посвящена данная работа.

Электронная модель системы автоматического управления уличным освещением состоит из датчика уровня освещенности, трехфазного пускателя с кнопочным постом управления и переключателя автоматического и ручного режимов работы (рисунок).



Электрическая схема автоматической системы уличного освещения

Управляющим воздействием в автоматическом режиме работы системы является уровень освещенности улицы. Возмущающие воздействия представлены излучениями искусственных и естественных источников света, а управляющее воздействие – состоянием магнитного пускателя. Система имеет возможность работать в режимах ручного и автоматического управления.

Изменение режимов работы устройства осуществляется с помощью переключателя А. При этом разомкнутому состоянию выключателя 9А соответствует автоматический режим работы системы, а замкнутому его состоянию – ручной режим.

В ручном режиме работы устройства при нажатии кнопки Р пускатель срабатывает и на источники света системы освещения подается напряжение. Выключение системы происходит при нажатии кнопки S или при срабатывании максимальной, минимальной или нулевой защиты.

Максимальная защита осуществляется с помощью предохранителей, а минимальная и нулевая – с помощью контактора пускателя.

В автоматическом режиме работы состояние системы освещения в каждый момент времени определяется положением подвижной системы выходного реле датчика уровня освещенности.

Разработанный контент показал свою работоспособность и успешно используется в качестве медиаинтерактивного образовательного ресурса при обучении студентов различных направлений подготовки (специальностей) УрФУ по дисциплине «Электроснабжение с основами электротехники».

Данная работа может послужить более полному и глубокому изучению технических средств электрификации и автоматизации инфраструктуры городов и населенных пунктов и, как следствие, повышению энергосбережения в процессе жизнедеятельности их населения.

## **КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАПАСОВ ТОРФА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ**

*Копейцев А.М., Осинцева Г.Ю., Гревцев Д.Е., Александров Б.М., Горбунов А.В.  
Уральский государственный горный университет  
alexgorbunov72@mail.ru*

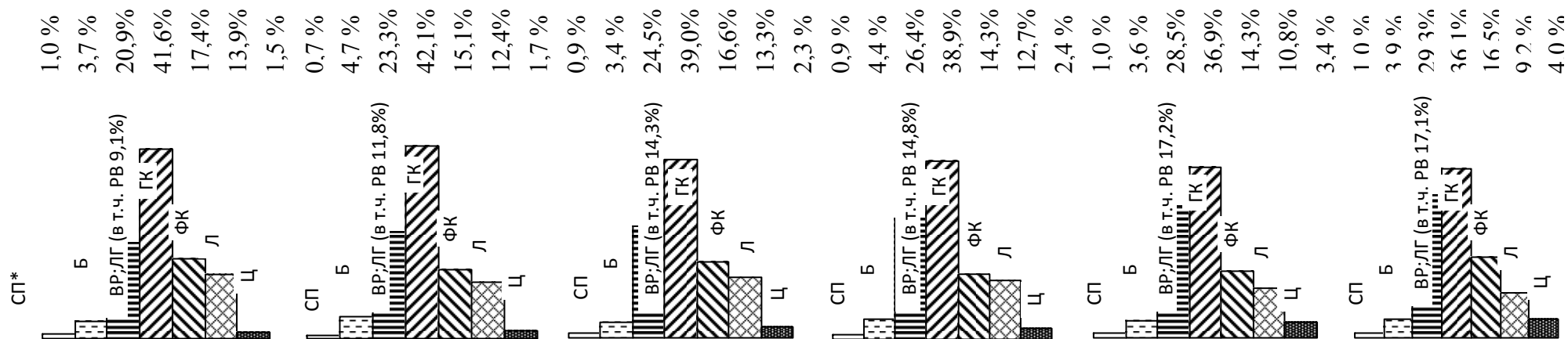
В настоящее время, когда возрастает интерес к добыче и комплексной оценке физико-технических свойств торфа как у государственных структур, так и у среднего и малого бизнеса, возникает проблема современных (цифровых) кадастров (справочников) по торфу и сапропелю по регионам страны с разработкой баз данных на электронных и бумажных носителях.

В настоящее время существуют разногласия между западной и российской системой оценки сырьевых ресурсов. За рубежом основным документом, подтверждающим состояние минерально-сырьевой базы, является отчет о запасах и ресурсах, составленный с использованием шаблона CRARSCO (объединенный комитет по международным стандартам отчетности о запасах), который напрямую не коррелируется с принятой в России методикой. Западная практика основана на использовании специализированных компьютерных программ для подсчета ресурсов и запасов методом блочного моделирования с использованием геостатического аппарата. В РФ в основу классификации положены нормативные акты, регламентирующие требования для оконтуривания и подсчета запасов в блоках на основе экономических параметров.

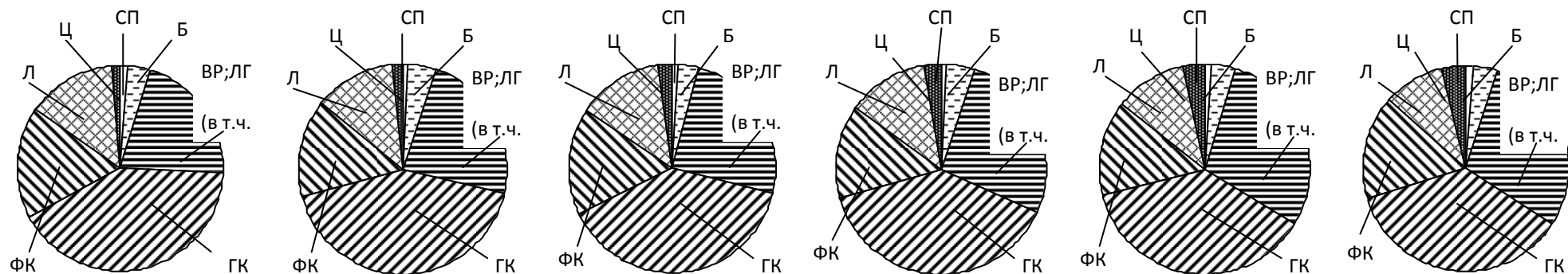
Следует заметить, что торф добывался не только для топливных целей, но и для приготовления торфяной подстилки и различных видов органических и органоминеральных удобрений, которые являлись традиционной продукцией торфяной промышленности. В разные периоды осваивалось производство из торфа горного воска, активных углей, биологически активных веществ, грунтов для выращивания овощей и цветов, субстратных плит, торфоблоков и другой продукции для сельского хозяйства, композиционных материалов для черной и цветной металлургии, препаратов для производства красителей, для изготовления бальнеологических компонентов, используемых в медицине и т. д.

В качестве примера на рисунке представлен групповой состав органической массы низинного торфа.

# ГИСТОГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУППОВОГО СОСТАВА



## ДИАГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУППОВОГО СОСТАВА



\* СП - суммарные потери при групповом анализе

| Подтип | Лесной                                      | Лесо - топяной           |                  | Топяной  |                 |                |
|--------|---|--------------------------|------------------|--|-----------------|----------------|
| Группа | древесная                                   | древесно-травяная        | древесно-моховая | травяная   | травяно-моховая | моховая        |
| Вид    | 1,1101;<br>1,1102;1,1103;<br>1,1104; 1,1105 | 1,2206;1,2207;<br>1,2208 | 1,2309; 1,2310   | 1,3411;1,3412; 1,3413;<br>1,3414; 1,3415; 1,3416 | 1,3517; 1,3518  | 1,3619; 1,3620 |
| КТС    | Н-3-(2-3)                                   | Н-(2-3)-(2-3)            | Н-(2-3)-2        | Н-(2-3)-2  | Н-(1-2)-(1-2)   | Н-(1-2)-(1-2)  |

Примечание: КТС - категория торфяного сырья.

Групповой состав органической массы низинного торфа (в процентах на сухое вещество)

Учитывая многообразие направлений использования торфа в экономике, становится актуальной проблема комплексной оценки физико-технических свойств запасов торфа на месторождении по категориям торфяного сырья с учетом типа, группы, вида торфа, степени разложения, зольности. Это делает возможным селективно оценить запасы торфа на месторождении по возможным и перспективным направлениям использования. Кодирование позволяет автоматизировать на ЭВМ процесс оценки торфяных ресурсов для использования в различных отраслях народного хозяйства с учетом специфических особенностей той или иной категории торфяного сырья.

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОДА РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ**

*Кузнецов И.Д., Гольцев В.А.  
УрФУ, v.a.goltsev@ustu.ru*

Руднотермическая печь размещается в помещении шихтарника плавильного отделения свинцово-баббитного цеха на территории филиала «Производство сплавов цветных металлов» (ПСЦМ) ОАО «Уралэлектромедь».

Модернизация системы охлаждения пода печи входит в проект реконструкции руднотермической печи.

Проектом предусматривается перепрофилирование производства на выпуск штейна медного и увеличение производительности печи по шихте с 37,2 до 50 т/сут. В проекте предусмотрены изменения размеров рабочего пространства: длина печи составит 3295 мм, ширина – 2000 мм, а высота – 1895 мм. Так же изменится толщина кладки: рабочая торцевая стенка составит 575 мм, остальные стенки – 460 мм.

Под будут выкладывать из трёх слоёв. Первый слой будет состоять из шамотного кирпича; второй слой – смесь кварцевого песка с шамотной крошкой. Третий слой, имеющий вид обратного свода, будет выложен из хромитопериклазового огнеупора в два кирпича по 230 мм (рис. 1).

Из рассчитанного теплового баланса печи следует, что потери теплоты через под относительно общих потерь теплоты составляют 2,85 %, что можно считать малозначительным, однако температура внешней поверхности пода достигает 235 °С, что недопустимо. Из-за увеличения производительности печи повышается износ футеровки в межэлектродном пространстве. Для продления кампании печи, а также уменьшения потерь теплоты через под ведётся модернизация системы охлаждения пода печи.

Расчет системы охлаждения пода был произведен при соблюдении двух условий:

1. Максимальный допустимый износ одного из двух рядов хромомagneзито-вого кирпича толщиной 0,26 м в футеровке пода между электродами.

2. Температура наружной поверхности пода не должна превышать 100 °С.

Исходя из существующего положения расположения руднотермической печи в цехе, а также вышеперечисленных условий проектирования, состав системы охлаждения пода был определён таким образом:



- вентилятор;
- общий коллектор;
- кольцевой коллектор;
- две воздушные фурмы для охлаждения межэлектродной поверхности пода руднотермической печи;
- четыре воздушные фурмы для охлаждения остальной поверхности пода руднотермической печи.

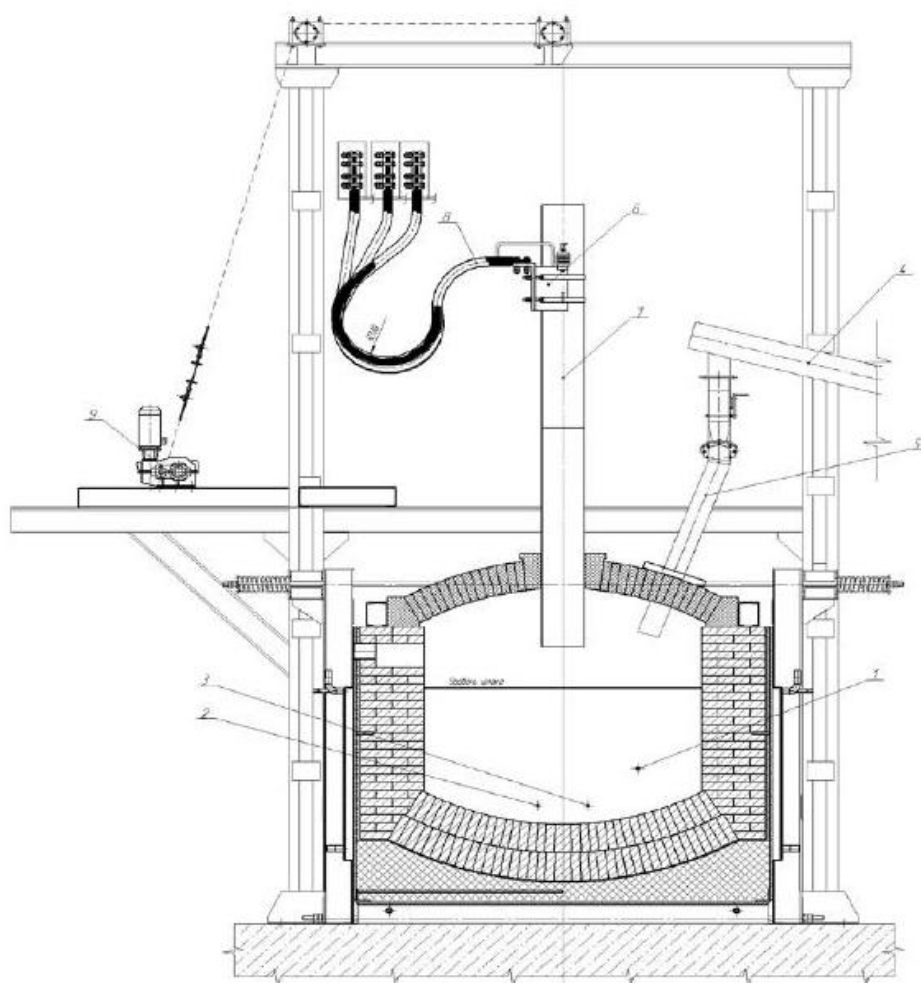


Рис. 1. Поперечный  
разрез РТП:

- 1 – шпуровое отверстие для выпуска шлака;
- 2 – запасное шпуровое отверстие для выпуска штейна;
- 3 – шпуровое отверстие для выпуска штейна;
- 4 – шнековый конвейер;
- 5 – распределительное устройство;
- 6 – электродержатель;
- 7 – электрод;
- 8 – гибкий шинопровод;
- 9 – лебедка для перемещения электродов

По проекту (рис. 2) воздух после вентилятора попадает в общий коллектор, после которого равномерно распределяется на две ветки кольцевого коллектора. Из кольцевого коллектора воздух попадает в воздушные фурмы, направленные под разными углами к поду печи.

Установка шиберной заслонки с регулировочной гайкой позволяет регулировать поток воздуха на конкретный участок пода печи, в зависимости от теплотерьер через под. Необычная, овальная форма выходного отверстия позволяет распределить поток воздуха по всему участку пода в районе установки сопла.

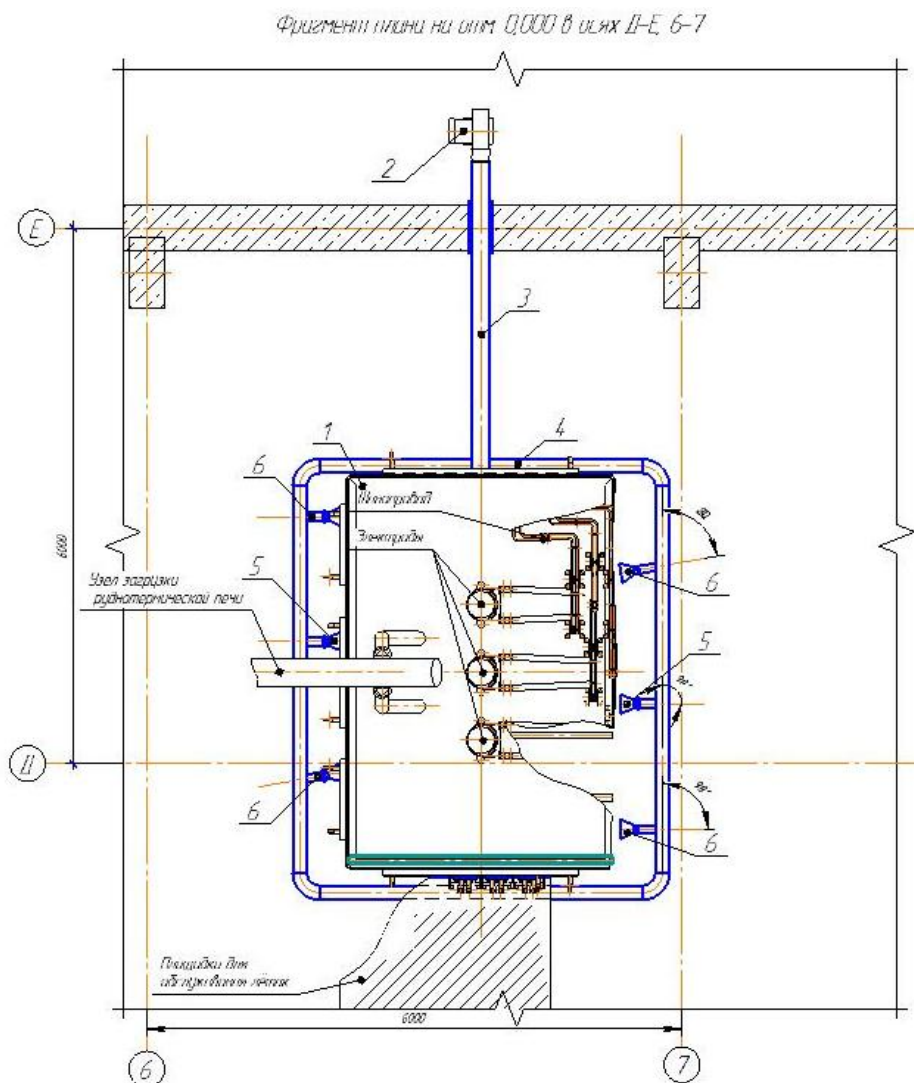


Рис. 2. Система охлаждения печного пода (вид сверху):  
 1 – руднотермическая печь; 2 – вентилятор;  
 3 – общий коллектор;  
 4 – кольцевой коллектор; 5 – воздушные фурмы для охлаждения межэлектродной поверхности пода руднотермической печи;  
 6 – воздушные фурмы для охлаждения остальной поверхности пода руднотермической печи

За счет рационального распределения воздушного потока решается задача повышения стойкости огнеупорных материалов и продления срока их службы, предотвращаются аварийные ситуации, связанные с прорывом расплава через подовое пространство. Дальнейшие задачи заключаются в уточнении расхода воздуха, подаваемого на охлаждение, и в более тонкой настройке расположения и угла наклона фурм.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАГРЕВА РЕЛЬСОВЫХ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ «ЕВРАЗ НТМК»

Куликов И.С.  
 УрФУ, blade1871@yandex.ru

Рельсовая продукция в России является особенно востребованной в связи с большой протяженностью железных дорог. С ростом мировой экономики изменяются требования к качеству металлургического проката. Одним из показателей качества при нагреве рельсовой заготовки является средний перепад температур по ее сечению после выдачи из печи. Именно им определяется дальнейшая эластичность металла, также не менее важная характеристика при по-

следующих этапах прокатки рельсового профиля. В рельсобалочном цехе НТМК, который производит рельсы длиной 25 метров, нагрев осуществляется в методической печи с шагающими балками. Общая производительность агрегата при нагреве заготовок для изготовления рельсов составляет 200 т/ч. Прокатка нагретой заготовки осуществляется в несколько этапов, среди которых можно выделить обработку на черновых клетях «950» и «850», а также проход через группу чистовых клетей с последующей маркировкой, правкой, контролем и охлаждением рельсов на стеллажах.

В связи с тем, что НТМК продает свою рельсовую продукцию за рубеж, руководство комбината приняло решение по улучшению качества продукции и как следствие этого повысились требования ко всем этапам производства рельсов. Для обработки на черновой клети стал необходим меньший средний перепад температур по сечению заготовки. Стали возникать проблемы при обжати заготовки, связанные с наличием непрогретых участков на рельсовой заготовке.

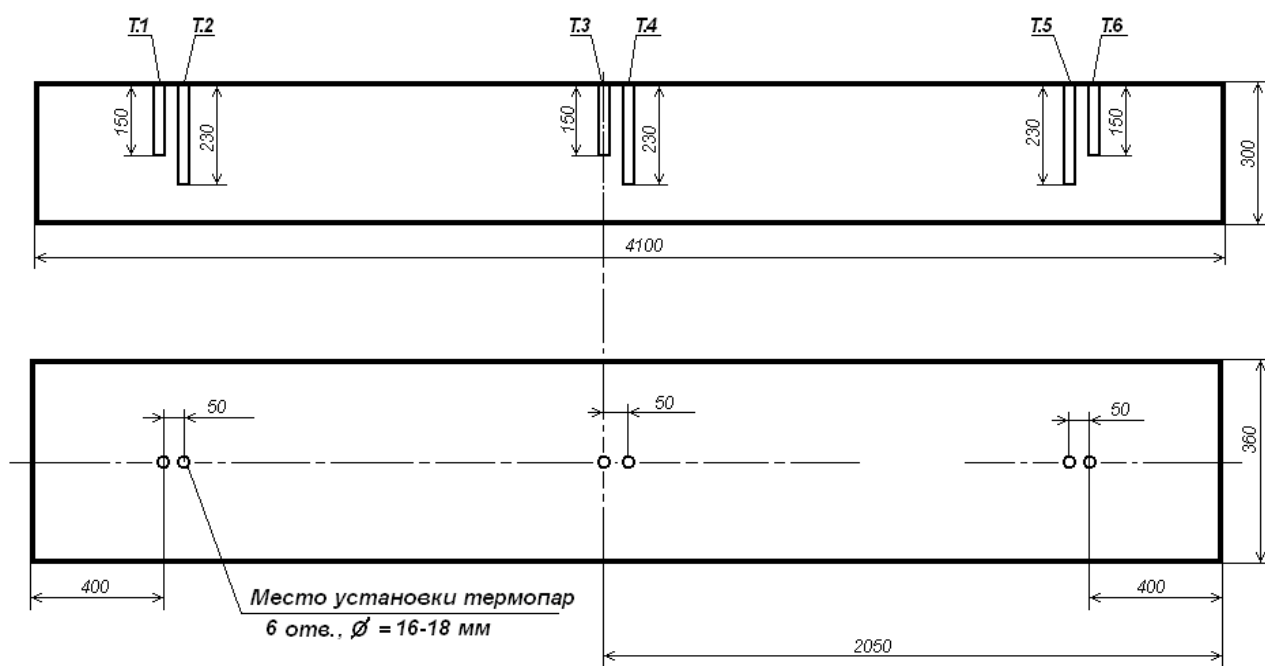
По технологической инструкции рельсовая заготовка размерами по ширине 300 мм, толщине 360 мм и длине 4100 мм должна нагреваться в печи не менее 2 часов 40 минут, проходя все 6 зон печи в соответствии со следующим режимом (табл. 1). Поддерживаемый перепад температуры по сечению должен составлять  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 1

Температурный режим по зонам МПШБ

| Режим<br>нагрева      | Температура, $^{\circ}\text{C}$ , в зонах печи |           |           |           |           |           |
|-----------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                       | 1  | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         |
| 3, $^{\circ}\text{C}$ | 1100-1150                                      | 1110-1160 | 1230-1280 | 1230-1280 | 1220-1270 | 1220-1270 |

Для оценки качества нагрева заготовок специалистами лаборатории теплотехники комбината был проведен опыт со сверленной рельсовой заготовкой, рисунок которой изображен ниже:



Условия эксперимента были следующими. Заготовка нагревалась в методической печи 2 часа 52 минуты, в правом ряду по ходу металла. Во время нагрева поддерживался следующий температурный режим, приведенный в табл. 2.

Таблица 2

Температурный режим (опытный) по зонам МПШБ

| Режим                   | Температура по зонам, °С |           |           |           |           |           |
|-------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                         | 1 зона                   | 2 зона    | 3 зона    | 4 зона    | 5 зона    | 6 зона    |
| Заданная температура    | 1130                     | 1150      | 1280      | 1280      | 1270      | 1270      |
| Фактическая температура | 1097-1105                | 1144-1154 | 1273-1285 | 1276-1286 | 1269-1273 | 1265-1274 |

После выдачи из печи нагретая заготовка транспортировалась по рольгангу в сторону для проведения измерений. Измерения проводились одновременно в 6 точках с помощью ХА-термопар длиной 2 метра, подключенных к регистрирующему прибору. В результате опыта получили следующие данные (табл. 3).

Таблица 3

Температуры по сечению заготовки (опытный режим)

| Время замера                          | Температура по точкам, °С |      |      |      |      |      | Максимальный перепад температуры по длине заготовки, °С |
|---------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|---|
|                                       | 1                         | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |   |
| После выдачи                          | 1199                      | 1194 | 1244 | 1219 | 1195 | 1207 | 50  |
| Перепад температуры между точками, °С | 5                         |      | 25   |      | 12   |      |   |

В соответствии с технологической инструкцией и данными опыта было составлено два тепловых баланса при различных перепадах температур по длине заготовки. В результате получилось, что при меньшем перепаде температур по длине заготовки необходимо затратить большее количество топлива. Таким образом, для повышения качества нагрева заготовки рекомендовано увеличить средний расход топлива по зонам.

#### *Библиографический список*

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей / А.С. Телегин. М.: Металлургия, 1982. 360 с.
2. Теория и практика теплогенерации / С.Н. Гущин, М.Д. Казяев, Ю.В. Крюченков, В.Б. Кутын, В.И. Лобанов, Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. 379 с.
3. ТИ 102-П.С-335-2012 Нагрев заготовок в печи с шагающими балками рельсобалочного цеха: технологическая инструкция. Нижний Тагил, 2012.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЧЕБНОЙ БАЗЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Куликов А.А., Шевчук С.А., Котов О.М.  
УрФУ, o.m.kotov@ustu.ru

Предметом доклада является описание опыта разработки и использования базы данных потребителей электроэнергии в рамках учебной практики бакалавриата по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

Современные информационные технологии предоставляют широкий спектр инструментов для обработки данных. Специфика электроэнергетических задач, обусловленная большим количеством элементов, необходимостью учета значительного количества параметров, сложностью и многоуровневостью структуры сети, может быть адекватным образом учтена применением баз данных. В качестве знакомства студентов с будущей специальностью и приобретения начальных навыков решения профессиональных задач была разработана методика создания и использования учебных баз данных потребителей электрической энергии [1].

Упомянутая методика сводится к выполнению практикантом следующих этапов:

- этап проектирования учебной базы, отражающей структуру потребителей реальной энергосбытовой компании;
- этап разработки C# – приложения для работы с базой данных;
- этап формирования и анализа результатов.

На этапе проектирования базы данных создается структура, моделирующая потребителей некоторой энергосбытовой компании (рис. 1).



Рис. 1. Структура базы данных «Юридические лица»

База разделена на 4 таблицы, каждая из которых представляет собой набор данных по конкретному типу объектов. Принятая структура сводит количество повторения данных к минимуму, при этом содержимое полей «Сумма счёта» рассчитывается автоматически на основании установленных тарифов.

В качестве сюжета задания, приближенного к реальному, рассматривается кампания по замене устаревших приборов учёта в рамках следования Федеральному закону № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [2]. Для решения задачи оценки эффективности мероприятий по энергосбережению в базу данных были внесены ежемесячные объёмы электроэнергии для каждого потребителя компании за период, включающий полгода, предшествующие замене счётчиков и полгода после произведенной замены.

Задача оценки произведенных мероприятий решается с использованием технологии ADO.NET [3]. С помощью соответствующего параметризованного SQL-запроса [4] из базы данных импортируются сведения об электроэнергии, ежемесячно потребляемой каждым потребителем за рассматриваемый год. На основании полученных данных средствами C# [5] строится график суммарного потребления электроэнергии для района сети (рис. 2).

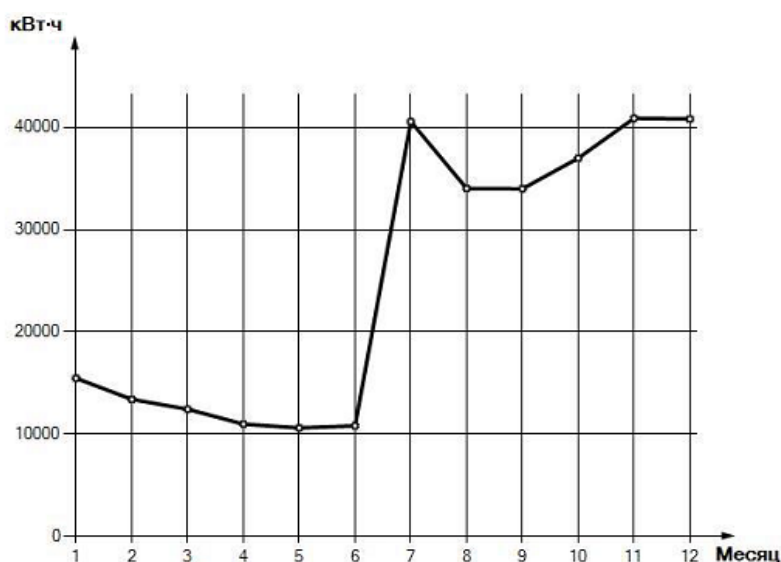


Рис. 2. Суммарное потребление электроэнергии

Анализ полученного графика позволяет сделать вывод, что замена приборов учёта позволила выявить кратное увеличение объема потребляемой электроэнергии. Основная причина этого в том, что старые приборы учёта, не проходившие поверку в

течение многих лет, в значительной мере занижали показания.

Пример решения реальной задачи свидетельствует о целесообразности применения баз данных и языка программирования C# в качестве одной из тем учебной практики бакалавриата по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

#### Библиографический список

1. Разработка и управление базами данных потребителей электрической энергии: Методические указания по учебной практике / О.М. Котов, А.А. Куликов, С.А. Шевчук. [Электронный ресурс кафедры АЭС УрФУ] ntaes: \ METHOD \ Учебная практика \ Методические указания по учебной практике.pdf. 31 с.
2. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Сеппа Д. Программирование на Microsoft ADO.NET 2.0. Мастер-класс. СПб.: Питер, 2007. 784 с.
4. Бейли Л. Изучаем SQL. СПб.: Питер, 2012. 592 с.
5. Троелсен Э. Язык программирования C# 2010 и платформа. NET 4.0. М.-СПб.-Киев: ИД «Вильямс», 2011. 796 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ANSYS CFX

Лабинцев Е.С., Тупоногов В.Г.  
УрФУ, egor.labintsev@mail.ru

С двухфазными течениями сталкиваются практически во всех областях техники (системы продувки котлов, газлифтные насосы, нефтяные и геотермальные скважины, нефте- и газопроводах, нагревателях и т.д.).

Проблема моделирования заключается в достаточно сложной методике расчета, существенно облегчаемой использованием ЭВМ. Однако, несмотря на это, имеется достаточно высокая неопределенность прогноза по ранее выведенным формулам (погрешности достигают 50 %). Она связана с большим числом переменных, характеризующих двухфазные течения. В настоящей работе была предпринята попытка моделирования двухфазного течения с использованием пакета ANSYS CFX.

В работе рассматривается проход пузырей воздуха через воду. В прямоугольную колонну (высота 1 м; длина 0,1 м; ширина 0,02) снизу через отверстие поступает воздух со скоростью 0,002...0,03 м/с. В этом случае воздух выступает как дисперсная среда (средний диаметр пузырьков 0,003 м), а вода – как непрерывная. Было учтено влияние гравитации и выбран изотермический режим процесса.

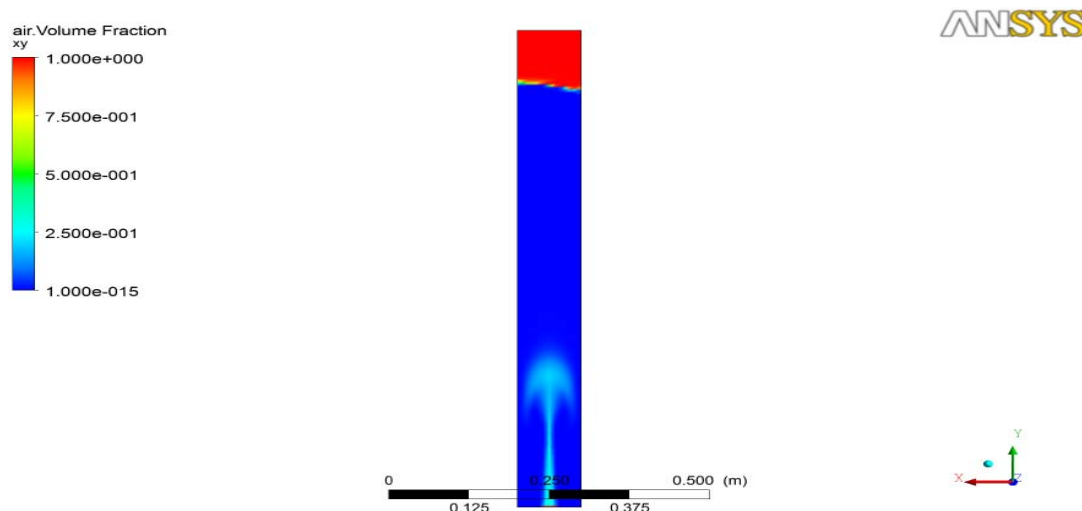


Рис. 1. Распределение по объему фракции воздуха

В процессе моделирования были взяты стандартные параметры фаз (воды и воздуха) из библиотеки ANSYS. Первичный расчет был проведен без учета сил сопротивления, чтобы отобразить ход процесса. Таким образом, был получен устойчивый режим согласно уравнению Эйлера для идеальной жидкости в поле тяжести (рис. 1). Впоследствии, для попытки получения лучших сходимостей, было увеличено количество итераций, тем самым качественно была определена причина небаланса – струи пузырей неустойчивы и имеют большие длины, чем экспериментальные изображения (рис. 2, 3).



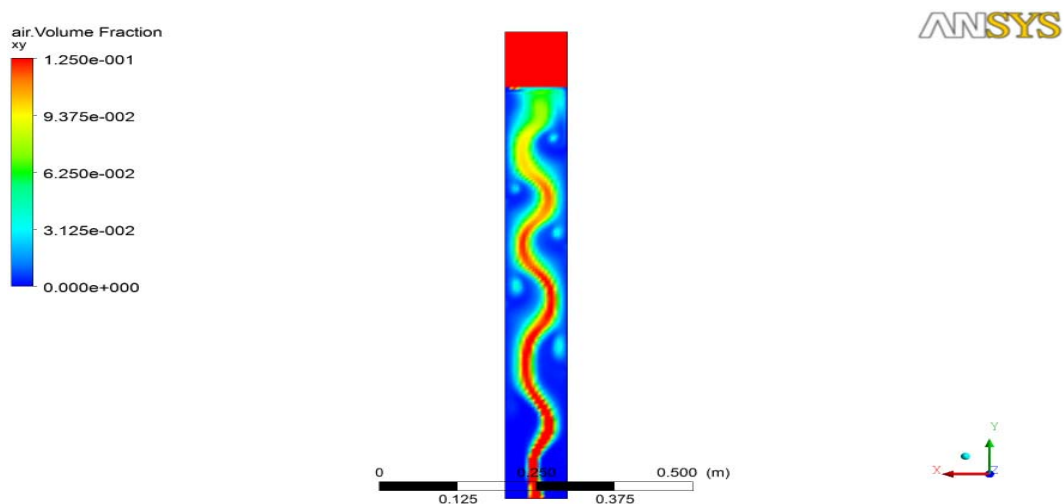


Рис. 2. Распределение по объему фракции воздуха (увеличение количества итераций)

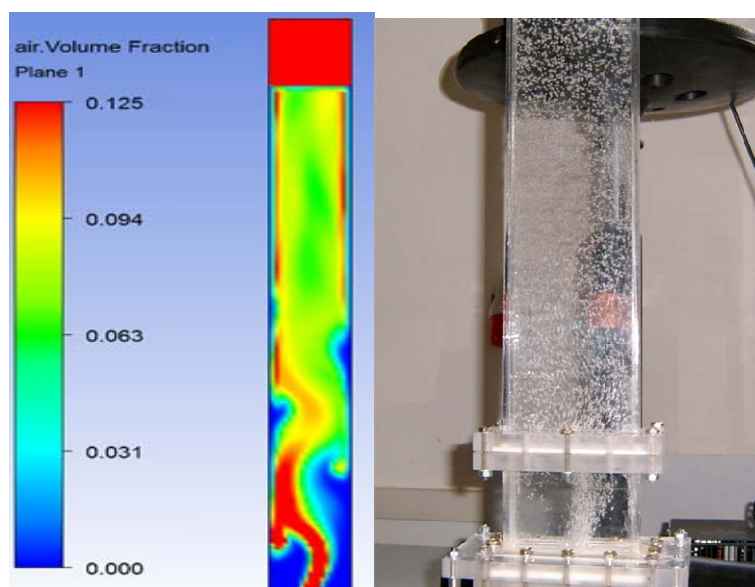


Рис. 3.

Далее было проведено введение дополнительных сил в модель процесса, влияющих на характер струи (силы трения о стенки колонны; сила, влияющая на дисперсию пузырей, подъемная сила и др.). В результате было получено распределение, соответствующее реальной картине распределения объемов фракций.

#### *Библиографический список*

1. ANSYS Workshop 12. Rectangular Bubble Column, 2009.
2. Чисолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках / Пер. с англ. Пер. изд.: Великобритания, 1983. М.: Недра, 1986. 204 с.



## ОПЫТ ОАО «ПО «УОМЗ» В РАЗРАБОТКЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Лазаревич А.С.

ОАО «ПО «УОМЗ» им. Э.С. Яламова», [skb7@uomz.com](mailto:skb7@uomz.com)

ОАО «ПО «Уральский оптико-механический завод» им. Э.С. Яламова» (УОМЗ), г. Екатеринбург (входящая в состав холдинга «Швабе») – крупное предприятие, имеющее современную производственную базу и опытных квалифицированных специалистов, выпускающая большую номенклатуру приборов различного назначения. С 1996 г. в ОАО «ПО «УОМЗ» ведутся работы по проектированию и производству светотехнических приборов широкого применения. Номенклатура изделий светотехники УОМЗ превышает 250 наименований. Это железнодорожные светосигнальные устройства, широкий спектр дорожных светофоров, дорожные знаки, индикаторы времени горения светофора, информационные таблички, уличное, архитектурное, бытовое и офисное освещение. Новой тематикой в 2013 году стало интеллектуальное освещение сельскохозяйственных помещений.

Технология **выращивания растений** под светодиодными светильниками является революционно новым способом применения освещения в сельском хозяйстве, отличающимся от прочих источников света, применяемых в растениеводстве, таких, например, как лампы ДНаТ и ДРИ. Светодиодные светильники состоят из большого количества источников света малой мощности, которые распределяются по панели лампы, объединяясь в единый световой поток, в то время как привычные ДНаТ и ДРИ – это одиночные лампы большой мощности, рассеивающие свет широко по поверхности. В результате проведенных исследований было показано, что наиболее благоприятными для выращивания светолюбивых растений являются интенсивности в пределах 150-220 Вт/м<sup>2</sup>, а оптимальный состав излучения имеет следующее соотношение энергий по спектру: 30 % – в синей области (380-490 нм), 20 % – в зелёной (490-590 нм) и 50 % – в красной области (600-700 нм). С использованием такого искусственного освещения получены урожаи, в несколько раз более высокие, чем при обычном освещении, причём за более короткие (в 1,5-2 раза!) сроки. Современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 620 до 635 нм, в оранжевой – от 610 до 620 нм, в жёлтой – от 585 до 595 нм, в зелёной – от 520 до 535 нм, в голубой – от 465 до 475 нм и в синей – от 450 до 465 нм. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне. Следует отметить и другие преимущества светодиодов, например, малую электрическую мощность и, как следствие, низкое потребление электроэнергии устройствами на основе светодиодов. Кроме того, стоит учитывать, что излучение светодиодов направленное, а это позволяет эффективнее использовать источники света на их основе. Также надо принимать во внимание, что время жизни

светодиодов превышает время жизни ламп минимум в несколько раз, что делает применение светодиодов крайне эффективным в экономическом плане.

Совместно с Департаментом «Физический факультет» Института естественных наук (ИЕН) УрФУ в 2011-2013 гг. были проведены масштабные работы по разработке **уличного светодиодного светильника** нового поколения. На базе УрФУ выполнены исследования на тему «Разработка конструкции уличного светодиодного осветительного устройства мощностью 150 Вт с применением двухфазной системы охлаждения светодиодных матриц», проведены модельные экспериментальные исследования «V-образных» термосифонов для отработки конструктивных вариантов системы охлаждения плоского светодиодного осветительного устройства. Предложена система охлаждения экспериментального образца. На площадке УОМЗ изготовлено три макета уличного светодиодного светильника с применением двухфазной системы охлаждения с применением этилового спирта, проведены предварительные испытания с применением термопаст. На сегодняшний день сотрудниками лаборатории тепломассопереноса в гетерогенных системах (лаборатория тепловых труб) отдела теплофизики и поверхностных явлений ИЕН УрФУ, проведено большое количество фундаментальных и прикладных исследований для разработки энергоэффективного светильника:

изучены процессы тепломассопереноса в мелкопористых капиллярных структурах (МКС): течение жидкости и газа, фазовый переход жидкость-пар, теплофизические, структурные и транспортные свойства;

рассмотрены эффекты взаимосвязи интенсивного испарения и капиллярных явлений для реальных жидкостей (с учетом примесей);

исследованы теплофизические (теплопроводность, теплоемкость и температуропроводность), структурные (пористость, максимальный размер пор и функция распределения пор по размерам) и транспортные (проницаемость) свойства капиллярно-пористых материалов;

разработаны технологии изготовления опытных образцов тепловых труб, капиллярных структур и капиллярных насосов, включая контурные тепловые трубы и тепловые трубы – панели;

разработаны опытные образцы систем обеспечения тепловых режимов устройств радиоэлектронной аппаратуры на базе тепловых труб (теплопроводники, термостаты, теплообменники).

Силами УОМЗ данные исследования воплощены в жизнь: в 2013 году изготовлен инновационный энергоэффективный уличный светильник ДКУ3000, прошедший все необходимые испытания. По своим характеристикам он значительно превосходит конкурентов по таким показателям как: энергоэффективность, температура эксплуатации, индекс цветопередачи и др.

Новой темой в 2014 г. станет разработка и внедрение **гибридных систем освещения**. Разрабатываемые высокотехнологичные светотехнические устройства, которые играют роль концентраторов и перераспределителей солнечного света, обеспечивают передачу естественного солнечного излучения во внутреннее пространство помещений с минимальными потерями. При этом данные системы практически исключают передачу тепловой энергии в помещения, что

позволяет значительно улучшить соотношение между величиной визуальной светопередачи и теплопритоком по сравнению с существующими способами передачи естественного света, поэтому их использование снижает затраты электрической энергии не только на освещение, но и на кондиционирование воздуха. Во-вторых, применяемая в конструкции гибридных систем технология позволяет эффективно собирать как прямые солнечные лучи, так и диффузионную составляющую естественного света, увеличив продолжительность светового дня путем усиления светового потока за счет захвата и передачи в помещение солнечных лучей в ранние утренние и предзакатные вечерние часы. В-третьих, унифицированные элементы сопряжения с различными видами кровли обеспечивают высокую эффективность работы системы при любых погодных условиях. В-четвертых, световоды имеют высочайшую отражающую характеристику (99,7 %) для видимого диапазона естественного света, обеспечивая его передачу, практически без искажения и потерь, на расстояния до 20-ти и более метров. Важно отметить, что система дает яркий, сбалансированный свет, создавая постоянный и равномерный уровень освещения и исключая образование бликов и резких перепадов освещенности.

Важно отметить, что применение таких систем приведет к снижению энергопотребления систем жизнеобеспечения спортивных сооружений с игровой площадью 2500 м<sup>2</sup> минимум на 240 МВт·ч/год, что соответствует уменьшению условных выбросов в атмосферу CO<sub>2</sub> на 120 тонн в год. Системы гибридного освещения передают свет в те места, где он необходим. Удивительно то, что теперь солнечный свет может быть направлен в рабочие зоны не только на верхнем этаже здания, но и глубоко внутри него. Применение световодов в спортивных и общественных зданиях не только является «зеленой» технологией, снижающей расход электроэнергии, но и ведет к переосмыслению технологии функционирования данного типа сооружения, а соответственно и к новому формообразованию здания.

## **ОРГАНИЧЕСКИЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ: ТЕРМОМАСЛО**

*Леготина А.И., Бирюзова Е.А.*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
legotinaa@imail.ru, biryuzova@rambler.ru*

Негативное воздействие на окружающую среду объектов энергетики, происходящие вследствие этого изменения климата, рост цен на нефть являются наиболее важными причинами повышенного интереса к рассмотрению возможности решения задачи повышения энергоэффективности, а также экологической эффективности получения энергии. Одним из таких вариантов решения проблемы является применение органического цикла Ренкина, как эффективного, чистого и надежного способа получения электроэнергии и тепла (в режиме когенерации).

Органический цикл Ренкина является хорошо известной и широко распространенной формой производства энергии, в основном из биомассы и в

геотермальном применении. Принцип действия цикла основывается на работе турбогенератора на основе паровой турбины для преобразования тепловой энергии в механическую и, наконец, в электрическую энергию с помощью электрического генератора. Вместо водяного пара в системе ORC, электрогенерирующей установке, использующей в качестве рабочего тела органический теплоноситель, испаряются органические жидкости, которые характеризуются высокой, выше, чем вода, молекулярной массой, что приводит к замедлению вращения турбины низкого давления и отсутствию разрушения металлических деталей и лопаток турбины.

Процесс основан на следующих этапах термодинамического цикла Ренкина. Источник тепла в замкнутой цепи нагревает диатермическое масло до высокой температуры, как правило, около 300 °С. В модуле ORC извлечения тепла из масла проходит в закрытом контуре. В ORC оно испаряется из рабочей жидкости в подходящей системе теплообменника (подогревателя и испарителя). Органический пар, производя механическую энергию, расширяется в турбине и далее, с помощью генераторов, преобразуется в электрическую энергию. Пар затем охлаждается в замкнутом контуре и конденсируется в жидкость. Вода прогревается до примерно 80...90 °С и используется для различных приложений, требующих тепла. Конденсированные органические жидкости закачиваются обратно в регенератор, чтобы закрыть и перезапустить схему цикла.

Цикл ORC обладает высокой общей эффективностью использования энергии:

- 98 % поступающей тепловой энергии в тепловом масле преобразуется в электрическую энергию (около 20 %) и тепло (78 %);
- низкие тепловые потери (2 %);
- высокая электрическая эффективность (около 24 % и более).

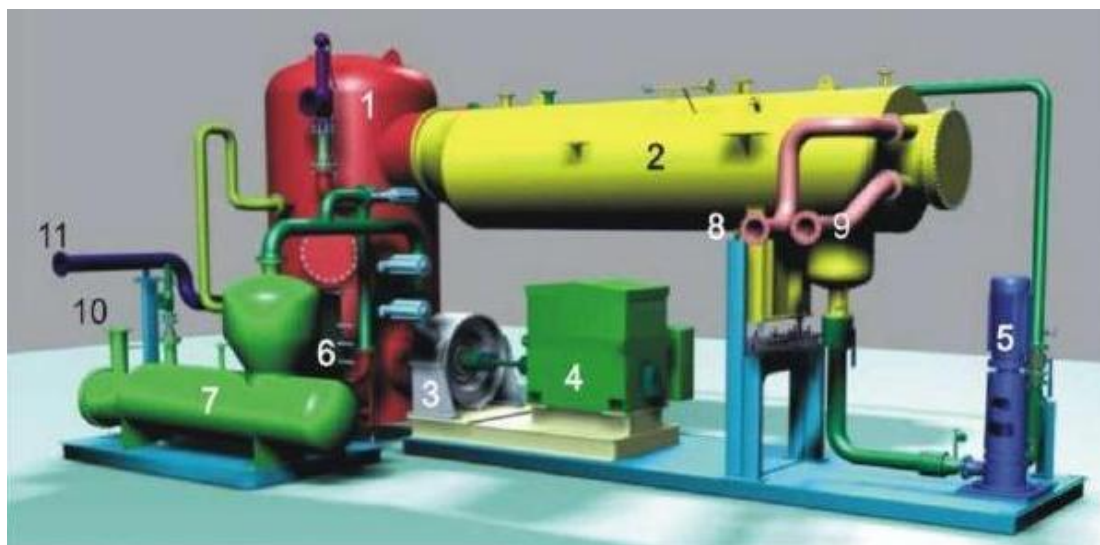


Схема установки Turboden ORC:

1 – регенератор; 2 – конденсатор; 3 – турбина; 4 – электрогенератор; 5 – циркуляционный насос; 6 – предварительный нагреватель; 7 – испаритель; 8 – вход горячей воды; 9 – выход горячей воды; 10 – вход диатермического масла; 11 – выход диатермического масла

По сравнению с альтернативными технологиями сопоставимых размеров (от 0,4 до 2 МВт производства электрической энергии), Turboden ORC обладает следующими преимуществами:

- отсутствие высокого давления пара генератора в котле (в тепловых котлах масло нагревает жидкость, без изменения фаз);
- непрерывная и автоматическая работа котла и турбогенератора;
- низкие эксплуатационные расходы на техническое обслуживание;
- длительный срок службы компонентов;
- ясный и простой интерфейс между котлом и Turbo ORC-генератором;
- простое управление;
- не требуется постоянное присутствие лицензированного оператора;
- высокая эффективность турбины (до 90 %);
- высокая эффективность при частичной нагрузке;
- низкая частота вращения турбины, позволяющая подключать электрогенератор прямым приводом без редуктора;
- низкие механические напряжения турбины из-за низкой скорости периферии;
- нет эрозии лопастей, благодаря отсутствию влаги в парах соплами;
- нет необходимости в системе водоподготовки;
- простая процедура запуска;
- длительный срок работы оборудования (более 20 лет).

Благодаря этим преимуществам, электростанции Turboden на основе технологии ORC быстро распространяются по всему миру.

Биомасса является доступным почти везде и чрезвычайно важным возобновляемым источником энергии. Она может храниться в течение длительного времени. Наилучшим способом биомасса используется при комбинированном производстве тепла и электроэнергии. В частности, получение максимального энергетического эффекта достигается в небольших энергосистемах (от нескольких сотен кВт до одного или двух МВт электрической мощности), построенных вблизи потребителя тепла.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЭРОБНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ «ВОДОКАНАЛ»**

*Логиновских Л.А., Иванцова М.Н., Селезнева И.С.  
УрФУ, i.s.selezneva@ustu.ru*

Быстрое развитие народного хозяйства требует все большего количества различных природных ресурсов, среди которых наиболее широко используется пресная вода. В развитых странах норма водопотребления достигает 1 м<sup>3</sup>/сут на 1 человека, а общий расход потребляемой воды и соответственно сточных вод приближается к стоку рек и даже нередко превышает его.

Жизнедеятельность современного города невозможна без бесперебойного функционирования систем сбора и очистки хозяйственно-бытовых сточных

вод. Однако на сегодняшний день почти повсеместно в России наблюдается высокий износ систем и сетей канализации. Решить подобные проблемы можно только комплексным методом, включающим в себя не только внедрение новейших разработок в области технологии очистки сточных вод, но также и сокращение энергозатрат, выбор наиболее оптимального и менее затратного способа реконструкции.

Основную функцию в процессах очистки сточных вод от органических и биогенных загрязнений выполняют искусственные биологические сооружения, в большей степени аэротенки различных технологических и конструктивных решений, оборудованные разнообразными системами аэрации. Согласно экспертным оценкам, от 60 до 90 % энергозатрат очистных станций обусловлено расходами электроэнергии на работу воздуходувок для аэрации иловой смеси в аэротенках.

На предприятии ППМУП «Водоканал» г. Первоуральска для подачи воздуха в аэротенк используются среднепузырчатые аэраторы, состоящие из перфорированной трубы. Основным их недостатком является то, что при снятии давления воздуха в эти элементы аэрации заходит сточная вода, забивая поры при следующей подаче давления. Затем биомасса начинает размножаться, полностью забивая поры. Элемент аэрации теряет до 70 % своей эффективности. Срок службы таких элементов аэрации составляет не более 3-5 лет, и это с ежегодными прочистками и дорогостоящими ремонтами. Данная система подвержена засорению, биозарастанию, что влечет за собой неравномерность в аэрации и, как следствие, к кислородному голоданию активного ила. Все это негативно сказывается на очистке сточных вод. Помимо этого, аэрация сточных вод в сооружениях биологической очистки с применением перфорированных труб требует больших затрат электроэнергии, составляющих до 60 % общих затрат на электроэнергию.

В настоящей работе предлагается использование трубчатых мелкопузырчатых аэраторов мембранного типа – «ФОРТЕКС АМЕ – Т 370». Данные аэраторы обеспечат более эффективную очистку сточных вод при уменьшении затрат на электроэнергию за счет снижения аэрации, уменьшая мощность воздуходувки (воздуходувка ТВ-600-1,1 мощностью  $M = 150$  кВт). Сборка системы аэрации проводится простым свинчиванием аэраторов между собой и последующей фиксацией, что позволяет произвести реконструкцию системы аэрации в предельно короткие сроки.

Преимуществом данных аэрационных элементов является: высокая окислительная мощность; высокая доля (20 %) используемого кислорода из подаваемого воздуха; простая конструкция элементов; возможность простой и быстрой замены мембраны или целого элемента; высокая устойчивость к засорению; уменьшение потребления электроэнергии за счет снижения мощности воздуходувки. Поэтому внедрение нового класса энергосберегающих мембранных аэраторов следует концепции энергосбережения.

Количество израсходованной электроэнергии на аэрацию иловой смеси в базовом 2012 г. составило 4 279,2 тыс. кВт·ч. В результате применения новых мелкопузырчатых мембранных аэраторов увеличивается концентрация раство-

ренного кислорода в воде, следовательно, можно снизить аэрацию иловой смеси, за счет уменьшения мощности воздуходувки с использованием частотного регулятора.

Проведен расчет планируемого потребления электроэнергии в проектном году, которое потребуется для обеспечения работы мембранных аэраторов «ФОРТЕКС АМЕ–Т 370»:

$$P_{\text{фор}} = (M \cdot n \cdot T_{\text{раб}}) / (\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{сети}}), [1];$$

где М – мощность воздуходувки ТВ-500-1,08М-В1, М = 70 кВт; частотный преобразователь DANFOSS VLT HVAC DRIVE FC 100; n – количество работающих воздуходувок, n = 3; T<sub>раб</sub> – время работы оборудования, ч, T<sub>раб</sub> = 8760 ч; η<sub>дв</sub> – КПД двигателя, η<sub>дв</sub> = 0,94 [1]; η<sub>сети</sub> – КПД электросети, η<sub>сети</sub> = 0,98, [1]; P<sub>тр</sub> = 70 · 3 · 8760 / (0,94 · 0,98) = 1 996 960,49 кВт·ч.

Показатели расхода электроэнергии в базовом году и расчетное потребление электроэнергии в проектном году представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Общее потребление электроэнергии ППМУП «Водоканал» г. Первоуральска

| Энергоноситель | Единица измерения | Потребленное количество в базовом году | Проектное потребление |
|----------------|-------------------|--|-----------------------|
| Электроэнергия | кВт·ч             | 4 279 201,04                           | 1 996 960,49          |

Показатели работы ППМУП «Водоканал» приведены в табл. 2 (в соответствии с ГОСТ Р 51379–99 [2]).

Таблица 2

Показатели работы предприятия ППМУП «Водоканал» г. Первоуральска

| Поз. | Показатель   | Единица измерения    | Базовый год        | Проектный год      |
|------|--|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1    | Объем производства очищенной сточной воды                                    | тыс. руб.            | 99 973,500         | 94 975,393         |
| 2    | Производство очищенной сточной воды  | м <sup>3</sup> /год  | 30 295 000         | 30 295 000         |
| 3    | Потребление энергоресурсов   | т у.т.<br>тыс. руб.  | 525,7<br>9 371,450 | 245,3<br>4 373,343 |
| 4    | Энергоемкость производства очищенной сточной воды                            | т у.т./<br>тыс. руб. | 0,005258           | 0,002583           |
| 5    | Доля платы за энергоресурсы в стоимости произведенной очищенной сточной воды | -                    | 0,0937             | 0,0321             |

Таким образом, за счет внедрения мембранных трубчатых аэраторов энергоёмкость производства очищенной сточной воды уменьшится на величину:

$$0,005258 - 0,002583 = 0,002675 \text{ т у.т./тыс. руб.},$$

что составляет 50,87 %. При этом эффект в снижении потребления электроэнергии составит: 525,7 – 245,3 = 280,4 т у.т./год.

Рассчитаны капитальные затраты ( $Z_m$ ) на модернизацию аэрационной системы и приведены в табл. 3:

Таблица 3

Смета капитальных затрат на модернизацию аэрационной системы

| Наименование затрат  | Сумма, тыс. руб. |
|--|------------------|
| Стоимость нового оборудования                                    | 3 632,04         |
| Затраты на доставку; 10 % от стоимости нового оборудования       | 363,20           |
| Затраты на монтаж нового оборудования                            | 40,320           |
| Итого для расчёта стоимости основных фондов                      | 4 035,36         |
| Затраты на демонтаж выбывающего оборудования                     | 12,09            |
| Неучтённые затраты; 10 %   | 403,54           |
| Итого для финансирования и оценки экономической целесообразности | 4 450,99         |

Остаточная стоимость выбывающих аэраторов равна [3]:

$$O = \Phi_{\text{выб.об.}} \cdot \left(1 - \frac{N_a T_{\phi}}{100}\right),$$

где  $\Phi_{\text{выб.об.}}$  – балансовая стоимость оборудования по данным предприятия, тыс. руб.,  $\Phi_{\text{выб.об.}} = 1200,00$  тыс. руб.;  $N_a$  – норма амортизации по данным предприятия, %,  $N_a = 10$  % (срок службы мембранных аэраторов 5 лет);  $T_{\phi}$  – фактический срок службы мембранных аэраторов,  $T_{\phi} = 5$  лет [3].

$$O = 1200,0 \cdot \left(1 - \frac{10 \cdot 5}{100}\right) = 600,0 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, материальные затраты на реконструкцию могут быть снижены и составят:

$$Z_m = 4\,450\,996 - 600\,000 = 3\,850\,996 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости ( $T_{ок}$ ) вложенных инвестиций составит при этом 0,85 года.

Относительный эффект в денежной форме ( $\mathcal{E}_{уд}$ ) равен 1,18 руб./руб., т.е. данное энергосберегающее мероприятие обеспечивает среднюю по своему значению эффективность.

Таким образом, рассмотренное энергосберегающее мероприятие по замене среднепузырчатой аэрационной системы, состоящей из перфорированной трубы, на мембранную мелкопузырчатую, является средnezатратным. Срок окупаемости составляет около 1 года. Предлагаемая замена морально и физически устаревших среднепузырчатых аэраторов, на новые мелкопузырчатые мембранные, даст существенный энергосберегающий эффект в денежном выражении 4 998,11 тыс. руб./год.

#### Библиографический список

1. Постоянный технологический регламент процесса очистки сточных вод хозяйственной канализации на участке ППМУП «Водоканал» г. Первоуральска. Первоуральск, 2012. 31 с.
2. ГОСТ Р 51379–99. Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы.
3. Оценка эффективности инвестиционных проектов: учебно-методическое пособие по курсу «Экономика предприятия» / сост. Л.М. Теслюк. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2007. 80 с.



## ОЦЕНКА МОЩНОСТИ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КПД ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СТИРЛИНГА

Лоншаков А.С., Суворов Д.М.  
Вятский государственный университет  
AlexLo90@mail.ru

Термодинамический цикл, по которому работают двигатели Стирлинга, был представлен около 200 лет назад. Принцип работы заключается в постоянно чередующихся циклах нагрева и охлаждения газа в закрытом внутреннем контуре. Сегодня перспективы исследований и реализации машин Стирлинга в технике и энергетике стали очевидны для всех промышленно развитых стран мира. Это подтверждается тем, что во многих крупных компаниях США, Великобритании, Японии, Германии, Швеции, Нидерландов, а в последнее время и Китая, Австралии, Израиля, Канады и Индии приступили к интенсивным исследованиям по машинам Стирлинга. Объективно в последнее время в мире в дальнейшем развивается перспективная отрасль – стирлингмашиностроение [3]. Это можно объяснить тем, что двигатель Стирлинга, в отличие от других типов двигателей, является уникальной тепловой машиной, поскольку относится к классу двигателей с внешним подводом теплоты (ДВПТ). Это исключительное свойство позволяет применять в двигателях Стирлинга любые виды топлива как традиционные (нефтепродукты, природный газ, пропан), так и нетрадиционные (древесину, биогаз, уголь, отходы деревообрабатывающей промышленности и сельского хозяйства), а также использовать солнечную энергию, вторичные энергоресурсы [2]. Современные двигатели Стирлинга конструктивно представляют собой удачное сочетание в одном агрегате компрессора, детандера и теплообменных устройств: теплообменника нагрузки (нагревателя), регенератора и холодильника.

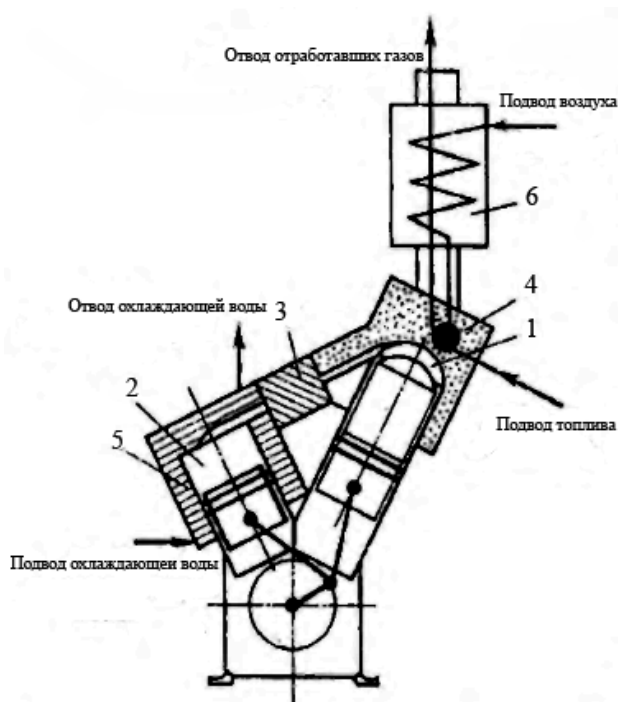


Рис. 1. Схема двигателя Стирлинга с V-образным расположением поршней:  
1 – полость расширения; 2 – полость сжатия;  
3 – регенератор; 4 – нагреватель;  
5 – холодильник;  
6 – подогреватель воздуха

Поскольку процесс горения идет вне рабочих цилиндров и протекает равномерно, рабочий цикл реализуется в замкнутом внутреннем контуре при относительно малых скоростях повышения давления в цилиндрах двигателя, плавном характере теплогидравлических процессов рабочего тела внутреннего контура и при отсутствии газораспределительного механизма клапанов [3]. Сейчас

наиболее перспективным направлением для применения двигателей Стирлинга является создание когенерационных установок для одновременного производства электроэнергии и тепла, которые относятся к стационарным энергетическим системам.

Экономическая рентабельность любой энергоустановки определяется в основном затратами на ее изготовление и эксплуатационными расходами. Корректная оценка стоимости двигателя Стирлинга достаточно затруднительна, но ее прогноз позволяет говорить о рентабельности производства двигателя Стирлинга в целом. Стоимость создаваемой продукции определяется прежде всего затратами на разработку конструкции, капитальное оборудование, производственными затратами, расходами на материалы, эксплуатацию и техническое обслуживание. Многие из этих составляющих зависят от массовости производства.

Профессор Бил из университета Огайо установил, что эффективная мощность многих двигателей Стирлинга может быть оценена по формуле 1

$$P = 0,15 \cdot p \cdot f \cdot V_0, \quad (1)$$

где  $P$  – эффективная мощность двигателя, Вт;  $p$  – среднее давление рабочего тела в цикле, МПа;  $f$  – частота вращения двигателя, Гц;  $V_0$  – вытесняемый рабочим поршнем объем, см<sup>3</sup>. Если данное уравнение, дающее предварительные результаты, преобразовать к безразмерному виду  $P/(pfV_0) = const$ , получим число Била, которое справедливо для двигателей Стирлинга как свободнопоршневых, так и для двигателей с различным механизмом передачи движения [1].

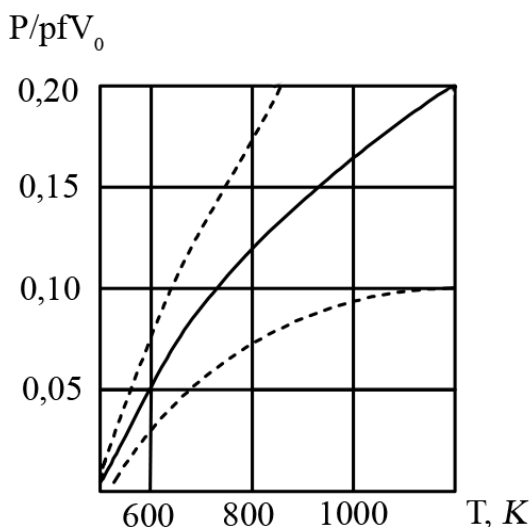


Рис. 2. Зависимость числа Била от температуры нагревателя

В большинстве случаев температурные уровни нагревателя и холодильника двигателя Стирлинга составляют соответственно 500-700 °С и 50-70 °С, и число Била будет являться функцией этих двух температур [1]. Эта зависимость может меняться в достаточно широких пределах, ограниченных на рис. 2 двумя штриховыми линиями. Для

двигателей с высоким КПД и низкой температурой холодильника числа Била расположены вблизи верхней кривой, для двигателей со средним КПД и высокой температурой холодильника – вблизи нижней. Область применения данной зависимости ограничена, но она позволяет проводить оценочные расчеты для вновь разрабатываемых машин и быть полезной для начинающих работать в этой области. Если рассмотреть варианты переделки небольших двигателей ДВС в двигатели Стирлинга мощностью несколько киловатт, где в качестве рабочего тела используется воздух при низком давлении и нагреве в обычной печи, то число Била может быть критерием оценки в данном варианте. Рассмат-

ривая двухцилиндровый двигатель ДВС, переделанный в двигатель Стирлинга при помощи нагревателей, регенератора и холодильника с диаметром и ходом поршня 50 мм, средним давлением рабочего тела в двигателе 0,3 МПа и частоте вращения 1500 об/мин, получаем:

$$P = 0,15 \cdot p \cdot f \cdot V_0 = 0,15 \cdot 0,3 \cdot (1500 / 60) \cdot (\pi / 4) \cdot 5^2 \cdot 5 = 110 \text{ Вт}.$$

Вполне вероятно, что мощность механического трения в данном варианте будет превышать эффективную мощность двигателя. Аналогичное приближенное выражение можно использовать и для эффективного КПД двигателя. Вследствие постоянного усовершенствования конструкций и снижения производственных затрат необходимо осторожно подходить к оценке эффективности двигателей. Если принять значение эффективного КПД на уровне 40-50 % термического КПД цикла Карно [1], то эффективный КПД двигателя может быть выражен как:

$$\eta_e = \frac{\text{эффективная мощность}}{\text{подводимая теплота}} = 0,5 \cdot (T_{\max} - T_{\min}) / T_{\max}. \quad (2)$$

В обычных двигателях используется конструкционная сталь, способная выдерживать температуру в 600 °С и водяное охлаждение (20 °С). Рассматривая данный случай, получим:

$$\eta_e = 0,5 \cdot (873 - 293) / 873 = 33\%.$$

Рассмотренные приближенные методы расчета эффективных значений мощности и КПД пригодны для предварительной оценки, но, тем не менее, они позволяют получить ориентировочное представление об основных параметрах двигателя и могут быть полезны для обсуждения новых конструкций и для начинающих работать в этой области.

#### *Библиографический список*

1. Уокер Г. Двигатели Стирлинга. М.: Машиностроение, 1985. 408 с.
2. Кириллов Н.Г. Производство машин Стирлинга – новое перспективное направление в развитии отечественного машиностроения // Вестник машиностроения. 2005. № 8. С. 3-8.
3. Что такое «машин Стирлинга»? [Электронный ресурс] URL: [http://www.stirling.ru/stirling\\_rus.html](http://www.stirling.ru/stirling_rus.html)

## **АМОРФНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ**

*Лопатин А.С., Лопатин И.С., Пирумян Н.М.  
УрФУ, sarapulovfn@yandex.ru*

Энергоэффективность, экологичность, экономичность – тренды современной электроэнергетики. Среди мероприятий, обеспечивающих решение поставленной задачи, важное место занимает энергосбережение на базе применения материалов нового поколения [3].

К таким материалам следует отнести сплавы, не имеющие кристаллического строения и названные аморфными. В обычных металлах атомы упакованы в кристаллических решётках подобно апельсинам в ящике. В аморфных твердых телах атомы существуют в некотором беспорядке, рис. 1.

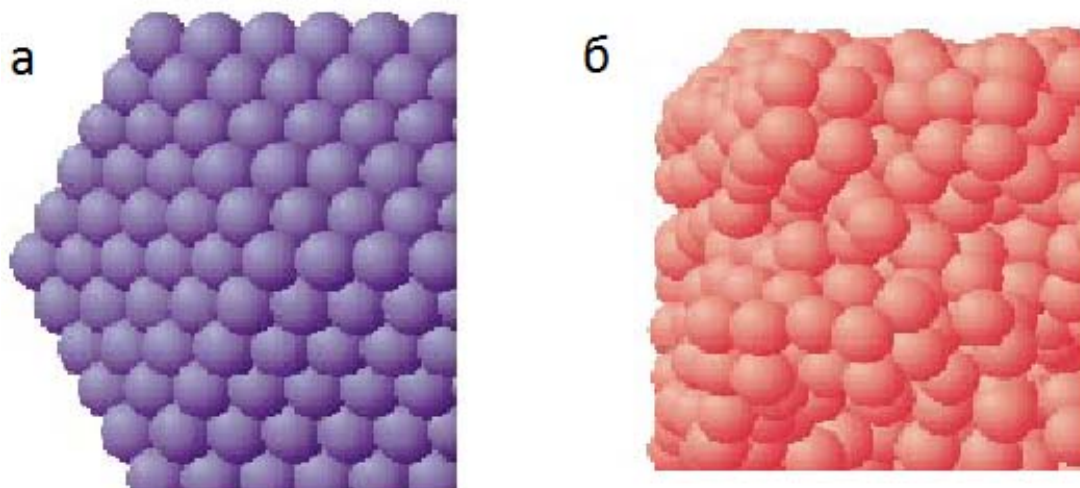


Рис. 1. Атомарная структура металла:  
а – кристаллическая, б – аморфная

Метод получения аморфных сплавов был разработан и впервые применен в 1960 году в Калифорнийском технологическом институте.

Технологическая схема получения аморфных лент приведена на рис. 2. Как только расплав попадает на вращающийся диск, он резко охлаждается (скорость охлаждения составляет приблизительно  $10^6$  К/с), он имеет схожесть с аморфной структурой стекла и принимает форму ленты толщиной  $15 \div 60$  мкм, как показано на рис. 2.

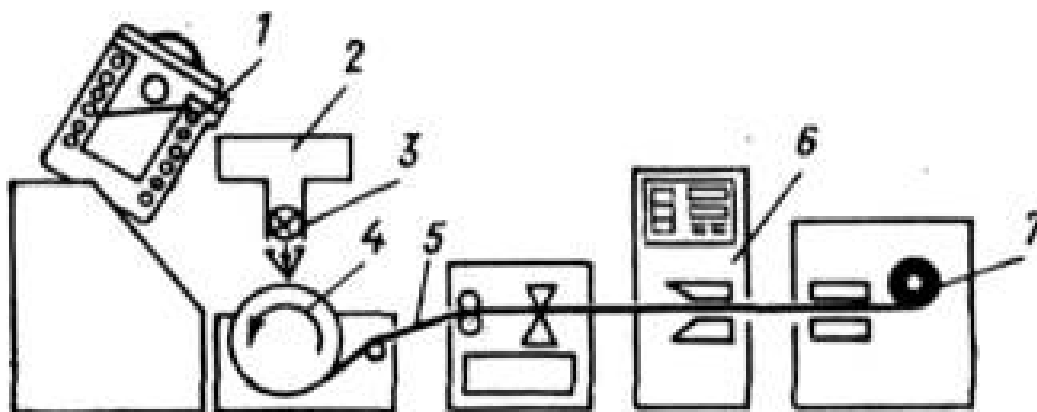


Рис. 2. Схема установки для получения аморфных лент [2]:  
1 – индукционная печь для планки металла; 2 – резервуар для металла;  
3 – дозировочный аппарат; 4 – вращающийся барабан; 5 – полученная и в течение 1 мс  
аморфная лента; 6 – контрольные приборы; 7 – намотка ленты на барабан

Из получившейся ленты идет изготовление магнитопроводов, путем набора в стержни, навивания в кольцевые сердечники или производства U-образных сердечников.

В 1988 году инженерами фирмы Hitachi Metals впервые был разработан так называемый нанокристаллический сплав. Структурная модель аморфно-кристаллического состояния, приведена на рис. 3, где 1 – нанокристаллы; 2 – переходная область; 3 – прослойки аморфной фазы.

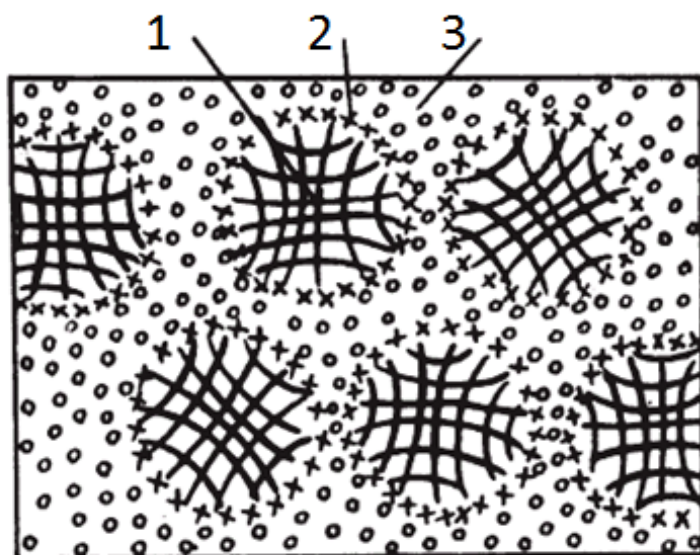


Рис. 3. Структурная модель аморфно-кристаллического состояния [3]

Наибольшую магнитную проницаемость и наименьшую коэрцитивную силу полоса с нанокристаллической структурой получает благодаря расположению кристаллитов диаметром от 10 до 20 нм по всей магнитопроводной ленте сердечника.

Одним из главных преимуществ металлических стекол можно назвать их исключительные антикоррозийные свойства. Многие из аморфных сплавов по этому показателю даже опережают лучшие марки нержавеющей стали.

За счет своих физических свойств магнитопроводы, изготовленные из аморфных сплавов, широко применяются в метрологии, а именно при конструировании измерительных трансформаторов напряжения и тока, а также при изготовлении силовых трансформаторов, в магнитопроводах которых обычно применяют сложенную в пятеро ленту из аморфного сплава (железо – 78 %, бор – 13 % и кремний – 9 %) [1].

Применение аморфных сплавов в силовых и распределительных трансформаторах даёт экономический выигрыш в результате резкого снижения уровня магнитных потерь в условиях роста цен на энергоресурсы. Это обстоятельство является решающим фактором, определяющим целесообразность применения аморфных сплавов.

У нас в стране производится в год около 1064 млрд кВт·ч электроэнергии. На своем пути до потребителя электрический ток не менее четырех раз проходит через электротехнические устройства – генераторы, трансформаторы, электродвигатели. И везде магнитные потери. Если сократить их вдвое только в сердечниках, это составит экономию 20 млрд кВт·ч. А некоторые марки металлических стекол сокращают потери не в 2, а в 3-4 раза. Так что интерес к новым материалам понятен и оправдан. К этому необходимо еще добавить, что из-за более низкой, чем у сталей, электропроводности для металлических стекол частично или полностью отпадает необходимость в изоляции пластин в пакетах сердечников. А это означает уменьшение габаритов и повышение к.п.д. электрических машин. Не менее привлекательны механические свойства металлических стекол. Аморфный металл в среднем в 5-7 раз прочнее своего кристаллического аналога. Например, сплав Fe80B20 имеет прочность на разрыв 370 кгс/мм<sup>2</sup> – в десять раз прочнее железа, вдвое прочнее лучших легированных сталей. А, например, потери в сердечниках из разработанного в Японии аморфного сплава Fe81B13Si4C2 примерно в 20 раз ниже, чем в текстурированных листах трансформаторной стали.

Потери холостого хода аморфного сплава составляют 0,32 Вт/кг, в то время как у обычной стали 0,96 Вт/кг. В целом от потерь в магнитопроводах теряется 4 % производимой в стране электроэнергии.

Есть основания считать аморфные сплавы пластичными стеклами: их можно вырубать и резать на полосы в штампах, на полосы и проволоку (например, лента аморфного сплава Ni<sub>49</sub>Fe<sub>29</sub>P<sub>14</sub>B<sub>6</sub>A<sub>12</sub> толщиной 25 мкм без образования микротрещин может быть согнута вокруг стержня бритвенного лезвия). Возможно изготовление плетеных сеток из аморфного металла вместо арматуры в железобетонных плитах, канаты и многие другие изделия, где уникальная прочность металлических стекол позволит сэкономить тысячи тонн металла [4].

Можно сделать вывод, что аморфные нанокристаллические сплавы являются весьма энергоэффективными материалами.

#### *Библиографический список*

1. <http://metall-moscow.ru/poleznoe/metallicheskoe-steklo>
2. [http://www.transform.ru/sst/\\$articles/a000001.htm](http://www.transform.ru/sst/$articles/a000001.htm)
3. <http://900igr.net/prezentatsii/khimija/Amorfnye-splavy/006-Struktura-amorfnykh-splavov.html>
4. Семенов И.Н. Химия и научно-технический прогресс: учеб. пособие / И.Н. Семенов, А.С. Максимов, А.А. Макареня. М.: Просвещение, 1988. 173 с.

## **ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ**

*Мансуров А.Р., Костуганов А.Б., Мансуров Р.Ш.*

*Оренбургский государственный университет*

*smansurov@mail.ru, kostuganow@mail.ru, rmansurov@inbox.ru*

За последние двадцать лет качество внутреннего воздуха помещений ухудшилось. Существенный вклад в этот процесс вносит применение различных полимерных материалов при изготовлении мебели, персональных компьютеров и т.п., которые загрязняют токсичными выделениями воздух помещения. Поэтому в настоящее время количество инфильтрационного воздуха оказывается недостаточным для осуществления необходимого воздухообмена в помещении, что в конечном итоге негативно сказывается на состоянии здоровья людей. Сегодня стал особенно актуальным вопрос о разработке энергоэффективных систем приточно-вытяжной механической вентиляции жилых, административных и общественных зданий. Одним из решений данной проблемы является разработка и применение для вентиляции помещений децентрализованных приточно-вытяжных систем вентиляции (ДПВСВ) с рекуперативными или регенеративными теплообменниками.

В 2012 г. в рамках этапа НИР по гранту Оренбургской области в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности – «Экономичная система вентиляции помещений многоквартирного жилого дома с использованием рекуператоров» – были проведены натурные испытания 3 образцов ДПВСВ с целью определения эффективности их работы. Испытывались образцы ДПВСВ, широко представленные на сегодняшний день на рынке товаров и услуг, а



именно: «УВРК-50» – производитель – ООО Научно-производственная фирма «Экотерм», г. Омск; «Прана-150» – производитель – компания «Прана», г. Львов; «ТеФо» – производитель – ООО «Теплообмен», г. Севастополь.

Натурные испытания ДПВСВ были проведены в декабре 2012 г. по достижению среднесуточных температур наружного воздуха устойчивых отрицательных значений ниже минус 6,3 °С (средняя температура за отопительный период). При таких испытаниях ДПВСВ подвергаются воздействию всей совокупности факторов, как наружного климата, так и внутреннего микроклимата помещения, а также ряду других факторов (расположение на наветренной или заветренной стороне здания, влияние окружающей застройки, колебания температуры наружного воздуха и т.д.), которые выявляются в процессе испытаний.

Для оценки эффективности работы ДПВСВ были выбраны следующие критерии:

1. Основные энергетические показатели оценки эффективности работы ДПВСВ:

1.1. Коэффициент энергосбережения – отношение количества возвращённой ДПВСВ теплоты к количеству теплоты, которое требовалось бы затратить для нагрева наружного воздуха до температуры воздуха помещения. Критерий выражается в процентах.

1.2. Коэффициент энергетической эффективности – отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведённым в целях получения такого эффекта. Здесь данный показатель выражается как отношение возвращенной тепловой мощности, к электрической мощности, потребляемой при работе ДПВСВ. Критерий выражается в процентах.

1.3. Коэффициент теплопередачи – тепловой поток, передаваемый через поверхность теплообмена (стенку), отнесённый к единице площади поверхности и температурному напору в один градус между приточным (наружным) и вытяжным (внутренним) воздухом, выраженный в Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

1.4. Коэффициент эффективного использования поверхности теплообмена – отношение расхода воздуха к площади поверхности теплопередачи, выраженное в (м<sup>3</sup>/ч)/м<sup>2</sup>. Показатель характеризует эффективность использования поверхности теплопередачи ДПВСВ.

2 Основные санитарно-гигиенические показатели оценки эффективной работы ДПВСВ:

2.1. Фактическая температура приточного воздуха – показатель, который сравнивается с минимально допустимым значением температуры приточного воздуха.

2.2. Фактическая скорость воздушной струи на входе в обслуживаемую зону – показатель, сравниваемый с нормативным значением скорости (подвижности) воздуха в обслуживаемой зоне.

2.3. Фактический уровень шума при работе ДПВСВ – данный показатель сравнивается с нормативным значением, которое принимается по СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

2.4. Фактический расход наружного воздуха – данный показатель сравнивается с нормативным значением, которое принимается по приложению М из СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

3. Основные массогабаритные показатели ДПВСВ:

3.1. Коэффициент эффективного использования массы ДПВСВ – показатель, характеризующий отношение расхода перемещаемого воздуха к массе ДПВСВ, выраженный в  $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{кг}$ .

3.2. Коэффициент эффективного использования занимаемой площади – показатель, характеризующий отношение расхода приточного воздуха к занимаемой площади на поверхности стены обслуживаемого помещения, необходимой для установки ДПВСВ, выраженный в  $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{м}^2$ .

4. Основные ресурсные показатели ДПВСВ

Гарантийный срок эксплуатации и ремонтпригодность.

5. Основные эксплуатационные показатели ДПВСВ

Периодичность технических обслуживаний, удобство монтажа и демонтажа, сложность конструкции.

По анализу результатов испытаний на основе выдвинутых критериев можно сделать следующие основные выводы:

1. Основным недостатком для всех трех представленных образцов ДПВСВ является недостаточное давление, развиваемое осевыми вентиляторами. Недостаточное давление отчетливо проявляется в период наличия ветра на улице. Ветер создает на ветреной стороне здания избыточное давление воздуха, что приводит к снижению объёма вытяжки из помещения вплоть до «опрокидывания», т.е. вытяжной канал начинает работать на приток воздуха в помещение. То же самое происходит на наветренной стороне только с противоположным знаком – ветром создаётся разрежение, что приводит к снижению объёма приточного воздуха вплоть до «опрокидывания», т.е. приточный канал начинает работать на удаление воздуха из помещения. Снижение на наветренной стороне здания расхода вытяжного воздуха приводит к снижению: коэффициентов энергосбережения, энергетической эффективности, температуры приточного воздуха.

2. Следующим существенным недостатком является акустический шум, создаваемый осевым вентилятором. Повышенный акустический шум является особенностью конструкции осевых вентиляторов.

3. Низкие значения показателей энергосбережения, энергетической эффективности, а также температуры приточного воздуха на выходе в помещение у некоторых ДПВСВ обусловлены малой площадью поверхности теплообмена.

Исходя из результатов и анализа проведённых исследований, были разработаны рекомендации для разработки и производства нового образца ДПВСВ. На сегодняшний день разработанные рекомендации внедряются в ООО «НПП «Пневмакс» г. Оренбург при разработке нового образца децентрализованной приточно-вытяжной системы вентиляции.



# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ТЕПЛОТЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Мжельская О.Ю., Краснова Н.П.  
Самарский государственный технический университет  
mzhelskaya.olga@gmail.com

В настоящее время широко распространены различные методы сохранения энергии и повышения энергоэффективности строительных материалов.

В современном строительстве в основном используется пустотелый кирпич.

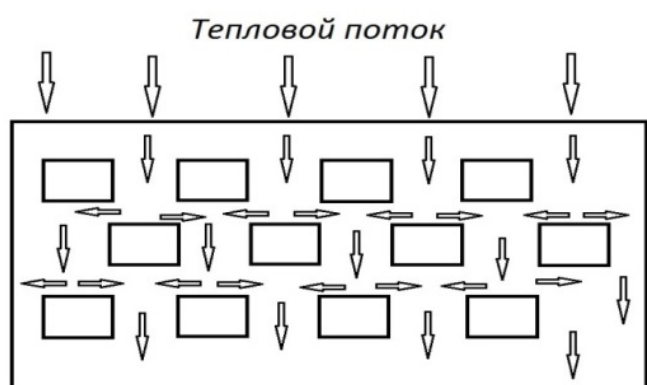
При всей своей легкости такой кирпич обладает хорошей прочностью и низкой теплопроводностью. Это значит, что при одинаковых теплоизоляционных характеристиках толщина стены при использовании пустотелого кирпича может быть в 2 раза тоньше стен, возведенных с помощью полнотелого, что позволяет экономить средства за счет уменьшения количества кирпича. При этом высокий уровень звуко- и теплоизоляции сохранится.

На сегодняшний день имеются исследования по улучшению теплофизических свойств строительных материалов. Например, заполнение ячеек пустотелого кирпича вспениваемым пластическим материалом или полистиролом, наполненным графитом.

Для снижения теплофизических показателей полых кирпичей, а именно значений коэффициента теплопроводности, предлагается использовать углекислый газ в качестве заполнителя пустот в полых кирпичах. Углекислый газ является одним из самых доступных и распространённых на сегодняшний день, но в отличие от остальных газов, он обладает наименьшим коэффициентом теплопроводности ( $\lambda_{t=20^{\circ}\text{C}}^{\text{CO}_2} = 0,0162 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ) [1], следовательно, его можно использовать как наполнитель для полых кирпичей при строительстве домов, в целях сохранения теплоты.

Предлагается изготавливать капсулы из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП), заполненные  $\text{CO}_2$ , и эти капсулы размещать в технологические отверстия полых кирпичей. Капсулы будут создавать дополнительное термическое сопротивление тепловому потоку, которое снизит скорость его прохождения сквозь стену кирпича (рисунок).

Использование ПЭВП обусловлено низкими стоимостью, доступностью и оптимальными теплофизическими показателями.



Пути прохождения  
теплового потока  
через пустотелый кирпич

В таблице перечислены основные виды кирпичей и их характеристики.

Основные характеристики кирпича

| Вид кирпича       | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Пористость, % | Марка морозостойкости | Коэффициент теплопроводности, Вт/м·С | Стоимость, руб., шт. |
|-------------------|--------------------------------------|---------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Полнотелый        | 1600 – 1900                          | 8             | 15 – 50               | 0,6 – 0,7                            | 15,30 – 17,30        |
| Пустотелый        | 1000 – 1450                          | 6 – 8         | 15 – 50               | 0,3 – 0,4                            | 11,80 – 12,50        |
| Энергоэффективный | 1000 – 1450                          | 6 – 8         | 15 – 50               | 0,22 – 0,28                          | 12,50 – 14,80        |

Приведённые исследования показали целесообразность дальнейших разработок в области применения энергоэффективного строительного материала.

*Библиографический список*

1. Варгафтик Р.В. Справочник теплопроводности жидкостей и газов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 352 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА

*Милютин Р.В., Пономарев К.В., Лазарева Т.Ю., Назарова Е.В., Сорокин Р.Н.  
Уральский государственный горный университет  
alexgorbunov72@mail.ru*

Развитие современного торфяного производства сопряжено с расширением областей применения торфа, с разработкой новых безотходных ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих комплексную переработку и селективную добычу сырья заданного качества.

В условиях резкого удорожания сырьевых и энергетических ресурсов, транспортных услуг, возросшей конкуренции на внутреннем рынке целесообразно рассмотреть вопрос возврата к газогенераторным установкам с использованием торфяного топлива.

Внутренний рынок России использования топливного брикета уже активно формируется и вскоре начнет расширяться.

Интерес к топливным брикетам обусловлен следующими факторами:

1. Теплотворная способность брикета составляет 4,3...4,75 кВт/кг, что в 1,5 раза больше, чем у древесины и сравнима с углем.
2. Минимальные выбросы в атмосферу.
3. Конструктивные особенности котельных, работающих на брикетах, позволяют автоматизировать процесс получения необходимого количества тепловой энергии.
4. При сжигании 2000 кг топливных брикетов выделяется столько же тепловой энергии, как и при сжигании 957 м<sup>3</sup> газа или 1000 л дизельного топлива или 1370 л мазута.

ООО «Региональная биоэнергетическая компания «ВЛАДИМИР» совместно с компанией ООО «Нео Сمارт Энерджи» (НСЭ) разработали концепцию и реализовали несколько проектов, связанных с переработкой фрезерного торфа в топливный брикет. Основой является брикетный комплекс, который представляет собой самостоятельное производство от приема исходного сырья до выпуска конечной продукции. Брикетный комплекс – быстровозводимый объект, не требующий значительных капитальных вложений на строительство зданий и сооружений, может располагаться на открытой площадке и эксплуатироваться как в летний, так и в зимний период.

В зависимости от исходных условий и пожеланий Заказчика брикетный комплекс может иметь различную конфигурацию, условно его можно разделить на следующие участки:

- участок приемки и складирования;
- участок сушки;
- участок брикетирования.

**Участок приемки и складирования** предназначен для подготовки и складирования исходного сырья, которое в последующем используется при производстве топливного брикета. В зависимости от имеющейся на конкретном торфопредприятии инфраструктуры данный участок может иметь различную конфигурацию и включать в себя приемные бункеры, транспортеры различных видов и конструкций, системы сепарации, склады и т.д.

**Участок сушки** представляет собой конвективно-тепловую сушку барабанного типа (рис. 1) с твердотопливным теплогенератором (рис. 2). Сушильный комплекс может иметь производительность по сухому сырью от 1000 до 2000 кг/ч.

Сушильные установки данного типа имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами сушильных агрегатов:

- возможность достижения широкого диапазона температуры сушильного агента с резким сокращением продолжительности сушки;
- лучшая степень использования тепла — расход топлива сокращается примерно в 2 раза по сравнению с расходом в установках, имеющих паровой калориферный нагрев воздуха;
- значительное удешевление сооружения сушильных установок, не нуждающихся в котельных и в калориферах. Устройство топки с топливоподачей примерно равно стоимости калориферного оборудования с паропроводной и конденсатопроводной системами, таким образом, исключается стоимость котельной;
- возможность быстрого строительства сушильных установок;
- снижение (примерно на одну треть и даже больше) стоимости сушки материала при прямом использовании дешевого тепла продуктов сгорания по сравнению со стоимостью сушки в аналогичных условиях, но с паровым нагревом.



Рис. 1. Сушилка барабанного типа

Рис. 2. Теплогенератор

Рис. 3. Брикетный пресс

**Участок брикетирования.** В России существует только одно предприятие по производству брикетных прессов, это «Рязанский завод тяжелого кузнечно-прессового оборудования». Однако брикетные прессы данного производителя предназначены для выпуска брикетов прямоугольной формы. Применение прямоугольного брикета для сжигания в отопительных котельных является проблемой. Поэтому компания НСЭ при проектировании и изготовлении оборудования для производства, а впоследствии и при сжигании, делает упор на брикеты цилиндрической формы. Производителей прессов цилиндрических брикетов в России нет. Компания НСЭ в свое время осуществляла мониторинг зарубежных производителей прессов, однако выяснилось, что оборудования для прессования торфа попросту не оказалось. В данный момент совместно с компанией MUTEK SYSTEMTECHNIK (Германия), был подобран, оптимизирован и испытан для прессования торфа брикетный пресс (рис. 3) производительностью 1000 кг/ч брикета диаметром 75 мм, который является основополагающей единицей оборудования в составе брикетного комплекса.

Брикетный комплекс в своем составе имеет также АСУ. В целом комплекс представляет собой гибкое производство с возможностью контроля и регулирования многих параметров с целью оптимизации процесса сушки торфа и производства высококачественного топливного брикета из торфа (рис. 4).



Рис. 4. Торфяной брикет

Несмотря на наличие и доступность современных технологий по добыче и переработке торфа, отечественная торфяная промышленность пребывает се-

годня в кризисном состоянии. Торф традиционно относится к местным ресурсам, используемым для решения отдельных вопросов конкретного региона. Концентрация крупных торфяных запасов в отдельных регионах позволяет создавать мощные производства торфяной продукции для различных направлений использования. Активное развитие торфяной промышленности должно основываться на государственной поддержке, необходимость которой обусловлена целым рядом аспектов.

## **ТЕПЛОАКОПИТЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЯ В ДЕТСКОМ ДОШКОЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ г. ЕКАТЕРИНБУРГА**

*Мишкович А.М., Попов А.И.  
УрФУ, esko-mishkovich@mail.ru*

В настоящее время энергосистема Свердловской области является энергоизбыточной. Потребление электроэнергии в октябре 2013 года составило 3877,6 млн кВт·ч, а выработка – 4554,8 млн кВт·ч [1]. Избыток произведенной электрической энергии в энергосистеме Свердловской области главным образом обусловлен наличием крупных объектов генерации: Белоярской АЭС; Верхнетагильской ГРЭС; Рефтинской ГРЭС; Среднеуральской ГРЭС; Серовской ГРЭС; Ново-Свердловской ТЭЦ.

При этом теплоснабжение осуществляется через теплосети, износ которых составляет в среднем 60 %. Стоимость обслуживания теплотрасс значительно превышает затраты на эксплуатацию линий электропередач или кабельных сетей в случае электроотопления.

Для отопления же школ, больниц, домов отдыха, санаториев традиционно строят котельные в виде отдельного здания на угольном и жидком топливе. Капитальные затраты на котельную и затраты на электроэнергию для бытовых нужд больше затрат только на электроэнергию в случае электроотопления [2].

Таким образом, традиционно подводят к потребителю трубы для отопления и горячего водоснабжения, а также электроэнергию. А при электроотоплении – только электроэнергию, но большей мощности.

Изложенные факты наводят на мысль о привлекательности электроотопления при наличии проблем с теплоснабжением из-за отсутствия резервных тепловых мощностей или в связи с необходимостью прокладки новых сетей. Особый интерес представляют системы электроотопления с использованием теплонакопителей.

Теплонакопитель – это электроотопительный прибор, работающий по принципу аккумуляции тепловой энергии. Он потребляет электроэнергию только в период ночного провала суточного графика нагрузки, т.е. во время действия более низкого тарифа на электроэнергию (с 23:00 до 07:00), а отдает тепловую энергию круглые сутки. Типовая структурная схема подобного прибора приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема теплонакопителя

Для бюджетных зданий с большой площадью более практичными будут системы теплоснабжения на базе центральных теплонакопителей с жидкостной системой немецкого производства *Schurer-Benz* типа *WB 65.75* мощностью до 120 кВт (рис. 2). Их конструкция позволяет интегрировать в общую систему теплоснабжения до 20 подобных накопителей, сосредоточенных в одном помещении или разнесенных по зданию.

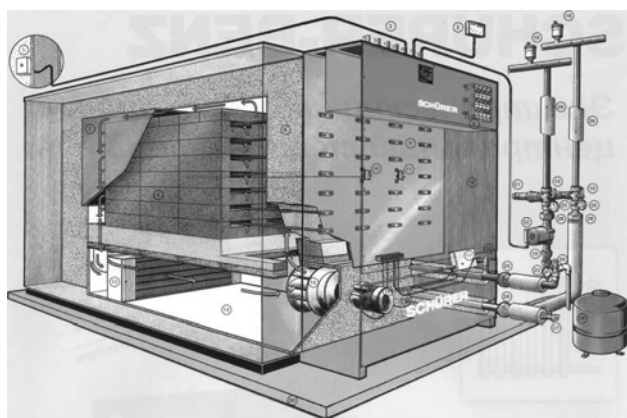


Рис. 2. Теплонакопитель *Schurer-Benz*

На примере детского дошкольного учреждения на 220 мест в г. Екатеринбурге можно рассмотреть вариант электроотопления с аккумулярованием тепловой энергии центральным теплонакопителем. Блок состоит из 5 накопителей *Schurer-Benz* общей мощностью 600 кВт [3].

Оценочный экономический эффект от применения теплонакопителей приведен в таблице.

Оценочный экономический эффект

| Наименование приборов отопления                   | Мощность*, кВт | Время работы, ч | Отопительный сезон, сут | Коэфф. использ. мощности | Тариф с НДС, руб. | Итого в сезон, руб. |
|---|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|
| Теплонакопители                                   | 600            | 8               | 245                     | 0,5                      | 3,51              | 2 063 880           |
| Электрокотел                                      | 200            | 24              | 245                     | 0,6                      | 4,5               | 3 175 200           |
| Экономия от применения теплонакопителей, руб./год |                |                 |                         |                          |                   | 1 111 320           |

\* Расчет требуемой мощности производится по ТСН 23-301-2004 Свердловской области [3]

С точки зрения потребителя, теплонакопители не только значительно повышают качество и надежность теплоснабжения, но и дают возможность регулирования температуры, а, следовательно, и расхода электроэнергии потребителем и сокращают разорительное расходование тепловой энергии.

Для энергосистемы Свердловской области электроотопление с аккумулярованием энергии поможет решить проблему неравномерности потребления электрической энергии. Широкое внедрение теплонакопителей позволит не только загрузить электросети в ночное время, но и освободить мощности в дневные часы для развития промышленности. Кроме того, уменьшение перепадов мощности всегда благоприятно сказывается на оборудовании, способствует увеличению его срока службы.

#### *Библиографический список*

1. Системный оператор единой энергетической системы. Филиал ОАО «СО ЕЭС» ОДУ УРАЛА [Электронный ресурс]: Новости ОДУ УРАЛА // URL: [http://www.socdu.ru/index.php?id=odu\\_ural\\_news\\_view&no\\_cache=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=5048](http://www.socdu.ru/index.php?id=odu_ural_news_view&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=5048) (15.11.2013)
2. Горбачев В., Филаретов В. Анализ эффективности использования различных видов отопления в городском хозяйстве [Электронный ресурс]: Электрон. статья URL: [http://electroterm.ru/content/articles/1\\_8.php](http://electroterm.ru/content/articles/1_8.php)
3. ТСН 23-301-2004 Свердловской области. Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормы по энергопотреблению и теплозащите.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЦИКЛОННЫХ ТОПОК ДЛЯ СЖИГАНИЯ ПОЛУКОКСА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

*Мракин А.Н.*

*Саратовский государственный технический университет,  
anton1987.87@mail.ru*

Сжигание полукокса, образующегося при термохимической переработке горючих сланцев, возможно в топках кипящего слоя, аэрофонтанных топках и циклонных топках [1, 2]. Если для первых двух типов имеются соответствующие методики теплового конструкторского расчета, то для циклонных топок, использующих полукоксы горючих сланцев, ее необходимо разработать с учетом специфики топлива. Предполагается рассмотреть циклонную топку, входящую в установку, разработанную специалистами ООО «Перелюбская горная компания» (ПГК) [3]. При этом необходимо отметить тот факт, что для топлив с низкой реакционной способностью (антрацита, сланцевого полукокса и др. топлив с малым выходом летучих) перед смешением аэросмеси с вторичным воздухом должно быть обеспечено воспламенение всех частиц топлива; горение аэросмеси должно быть настолько развито, чтобы выделилось достаточное количество тепла и поддерживалась температура 1500-1600 °С, обеспечивающая дальнейшее развитие процесса горения при перемешивании горячей аэросмеси с вторичным воздухом. Это может быть достигнуто подачей топлива в горелку воздухом, нагретым до 400-450 °С (против 245-270 °С для высокорективных Ки-

зеловских углей [4]), количество которого достигает 20 % от теоретически необходимого для горения, поддержанием определенной толщины и длины струи аэросмеси в зоне воспламенения и длительности пребывания в ней частицы топлива до встречи с вторичным воздухом и уменьшением на этом участке процессов теплообмена между факелом и окружающей средой.

Конструктивно перечисленные условия реализуются с помощью следующих мероприятий: подача всего вторичного воздуха через сопла, расположенные ниже основной горелки; выбор соответствующего угла наклона лопаток завихрителя первичного воздуха; применение оптимальных значений сечений горелки и предтопка; создание воздушной рубашки на периферии предтопка в которую под действием центробежных сил и турбулентного массообмена поступают и догорают частицы топлива.

Для повышения устойчивости горения или при наладочной эксплуатации в сопловом аппарате может располагаться дополнительная горелка. В частности, горение полукоксов сланца характеризуется значительной пульсацией и срывами факела. Для стабилизации топочного процесса предлагается использовать газ полукоксования Перелюб-Благодатовского горючего сланца следующего состава, об. %:  $\text{CO}_2=33,8$ ;  $\text{H}_2\text{S}=12,0$ ;  $\text{C}_n\text{H}_m=5,5$ ;  $\text{CO}=5,0$ ;  $\text{H}_2=20,8$ ;  $\text{CH}_4=18,3$ ;  $\text{N}_2=4,6$ . Его ввод осуществляет после отделения конденсации, где из газа отбираются жидкие фракции – сланцевая смола, пирогинетическая вода, газовый бензин и пр.

При эксплуатации может возникнуть значительный износ футеровки за счет химического взаимодействия со шлаком и абразивного воздействия коксозольных частиц. На опытно-промышленной установке ООО «ПГК» наблюдалось спиральное ошлаковывание шамотной футеровки, но при этом химической эрозии не происходило длительный период. Учитывая опыт устойчивой работы вертикального предтопка на антрацитовом штыбе лишь при его подаче через аксиально расположенную лопаточную горелку, тангенциальные подвод топлива без подсветки внешним факелом только ухудшал работу предтопка [4], нами решено подавать основное топливо (полукокс) и подсветочное (газ полукоксования, горючий сланец) только аксиально.

В качестве примера проведем расчет при следующих исходных данных:  $D/D_T=0,4$  – отношение среднего диаметра лопаточной горелки (полусумма внутреннего и внешнего диаметров) к диаметру топки;  $\alpha=1,05$  – коэффициент избытка воздуха в топке;  $\alpha_1=0,2$  – коэффициент подачи первичного воздуха;  $w_1=20$  м/с – выходная скорость первичного воздуха из горелки;  $w_2=65$  м/с – выходная скорость вторичного воздуха из сопла;  $\beta=50^\circ$  – средний угол наклона лопаток горелки к горизонтальной плоскости;  $T_{cm}=570$  К – температура аэросмеси;  $T_2=670$  К – температура вторичного воздуха;  $D_T=0,5$  м – диаметр циклонной топки;  $Q_n^p=4,88$  МДж/кг – низшая теплота сгорания сланцевого полукоксов;  $v_0=1,4318$  м<sup>3</sup>/кг – теоретическое необходимое количество воздуха (при 0 °С и 760 мм рт. ст.). Результаты расчета представлены в таблице.



**Расчет циклонной топки**

| Показатель,<br>ед. измерения  | Расчетная формула  | Значение   |
|---|--|--|
| Удельная нагрузка сечения топки, МДж/(м <sup>2</sup> ·ч)  | Выбирается по радиусу топки 0,25 м по справочным данным [4]  | $q_f = 21997,5$  |
| Сечение топки, м <sup>2</sup>   | $F = \frac{\pi \cdot D_m^2}{4}$  | $F = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196$   |
| Высота топки, м   | $H = (3,5 \div 4) \cdot D_m$   | $H = 3,5 \cdot 0,5 = 1,75$   |
| Объем топки, м <sup>3</sup>   | $V = F \cdot H$  | $V = 0,196 \cdot 1,75 = 0,343$   |
| Расход топлива, кг/ч  | $B = \frac{q_f}{Q_n^p} \cdot \left( \frac{D_m}{1,13} \right)^2$  | $B = \frac{21997,5}{4,880} \cdot \left( \frac{0,5}{1,13} \right)^2 = 882,5 \text{ (245 г/с)}$  |
| Суммарные тепловые потери топки, %  | По справочным данным [4]   | $q_{nom} = 11,5$   |
| КПД топки, %  | $\eta = 100 - q_{nom}$   | $\eta = 100 - 11,5 = 88,5$   |
| Тепловая мощность топки, МДж/ч  | $Q = B \cdot Q_n^p \cdot \eta$   | $Q = 882,5 \cdot 4,880 \cdot 0,885 = 3811,3$   |
| Тепловое напряжение топки:<br>объемное, МДж/(м <sup>3</sup> ·ч)<br>по сечению, Дж/(м <sup>2</sup> ·ч) | $q_v = \frac{Q}{V}$<br>$q_f = \frac{Q}{F}$   | $q_v = \frac{3811,3}{0,343} = 11111,7$<br>$q_f = \frac{3811,3}{0,196} = 19445,4$   |
| Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч<br>первичного<br><br>вторичного                                     | $W_1 = \alpha_1 \cdot B \cdot \nu_0 \cdot \frac{T_{cm}}{273}$<br>$W_2 = (\alpha - \alpha_1) \cdot B \cdot \nu_0 \cdot \frac{T_2}{273}$                             | $W_1 = 0,2 \cdot 882,5 \cdot 1,4318 \cdot \frac{570}{273} = 527,6$<br>$W_2 = 0,85 \cdot 882,5 \cdot 1,4318 \cdot \frac{670}{273} = 2635,9$                             |
| Выходное сечение горелки, м <sup>2</sup>  | $F_n = \frac{W_1}{3600 \cdot w_1}$   | $F_n = \frac{527,6}{3600 \cdot 20} = 0,0073$   |
| Число лопаток, шт.  | задается   | $n = 8$  |
| Толщина лопаток, мм   | задается   | $\delta = 4$   |
| Средний диаметр горелки, м  | $D_{cp} = 0,4 \cdot D$   | $D_{cp} = 0,4 \cdot 0,5 = 0,2$   |
| Диаметр горелки, м<br>внешний<br><br>внутренний   | $D_2 = D_{cp} + \frac{F_n}{\pi \cdot D_{cp} \cdot \sin \beta - \delta \cdot n}$<br>$D_1 = D_{cp} - \frac{F_n}{\pi \cdot D_{cp} \cdot \sin \beta - \delta \cdot n}$ | $D_2 = 0,2 + \frac{0,0073}{3,14 \cdot 0,2 \cdot \sin 50 - 0,008 \cdot 4} = 0,216$<br>$D_1 = 0,2 - \frac{0,0073}{3,14 \cdot 0,2 \cdot \sin 50 - 0,008 \cdot 4} = 0,184$ |
| Число сопел по окружности топки, шт.  | задается   | $n_c = 2$  |
| Выходное сечение одного сопла, м <sup>2</sup>   | $F_c = \frac{W_2}{3600 \cdot w_2 \cdot n_c}$   | $F_c = \frac{2635,9}{3600 \cdot 65 \cdot 2} = 0,0056$  |
| Высота сопла, м   | $h_c = 0,65 \cdot D_m$   | $h_c = 0,65 \cdot 0,5 = 0,325$   |
| Ширина сопла, м   | $\delta_c = F_c / h_c$   | $\delta_c = 0,0056 / 0,325 = 0,017$  |
| Расстояние от устья горелки до сопла, м   | $h_c = 0,4 \cdot D_m$  | $h_c = 0,4 \cdot 0,5 = 0,2$  |

### *Заключение*

1. Исходя из характерного состава органической и минеральной частей сернистых сланцев, предложена принципиальная схема процесса термической переработки, которая реализована в ООО «ПГК».

2. Проведена адаптация методик конструкторского расчета циклонных топочных устройств применительно к использованию сланцевого полукокса.

3. Работы в данном направлении необходимо продолжить для определения системной эффективности предлагаемой технологии для национальной экономики. В результате дальнейших НИОКР должны быть получены методические рекомендации для проведения инженерного проектирования и подбора основного и вспомогательного оборудования.

#### *Библиографический список*

1. Блохин А.И., Зарецкий М.И., Стельмах Г.П., Фрайман Г.Б. Энерготехнологическая переработка топлив твердым теплоносителем. М.: Светлый СТАН, 2005. 336 с.
2. Беляев А.А. Сжигание высокосольных топлив в топках с кипящим слоем промышленных котлов. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 72 с.
3. Мракин А.Н. Семенов Б.А. Инновационная технология термохимической конверсии горючих сланцев // Участники школы молодых ученых и программы УМНИК: сб. трудов XXVI Междунар. науч. конф.: в 2-х ч. Ч. 1. Саратов: Сар. гос. техн. ун-т, 2013. С. 97-101.
4. Маршак Ю.Л. Топочные устройства с вертикальными циклонными предтопками. М.-Л.: Энергия, 1966. 320 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЙОГУРТА**

*Мурзина М. А., Иванцова М.Н., Селезнева И.С.*

*УрФУ, i.s.selezneva@ustu.ru*

Пищевая промышленность является крупным потребителем тепловой и электрической энергии, воды. Предприятия пищевой промышленности потребляют около 12 % энергоресурсов всех промышленных предприятий, причем 70 % из них расходуется непосредственно на технологические процессы.

В Свердловской области создана комплексная система управления энергосбережением. Получили свое развитие структуры и центры, основная цель деятельности которых – реализация конкретных энергосберегающих мер во всех сферах экономической деятельности региона. Губернатор и Правительство Свердловской области проводят последовательную и принципиальную политику энергосбережения.

Верхнепышминский молокозавод является одним из основных поставщиков молока и молочных продуктов Свердловской области. С целью повышения качества выпускаемой продукции и снижения ее энергоемкости на заводе ведутся работы по развитию производства и усовершенствованию технологических процессов. В 2006 г. было проведено энергетическое обследование завода для определения эффективности энергоиспользования и выявления резервов энергосбережения. В результате проведенного обследования на заводе было установлено значительное превышение фактических расходов тепловой энергии, потребляемой в технологических схемах, над расчетными величинами.

Для устранения выявленных недостатков была запланирована оптимизация системы снабжения технологическими энергоносителями основного производственного оборудования.

В настоящей работе предлагается и обосновывается энергосберегающее мероприятие, заключающееся в замене кожухотрубного теплообменника с мощностью 48,5 кВт на пластинчатый разборный теплообменник с мощностью 32,5 кВт и уровнем рекуперации тепла от 40 до 60 % (при проведении расчетов принято 50 %). Поскольку оборудование работает непрерывно, то рабочее время теплообменника в год составляет 8160 часов. В результате проведенных расчетов установлено, что экономия электроэнергии при замене оборудования составит 263,16 тыс. кВт·ч/год, расход тепловой энергии на производстве при этом не изменится.

Фактические и проектные основные показатели работы Верхнепышминского молокозавода представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели работы Верхнепышминского молокозавода

| Поз. | Показатель  | Ед. изм.                   | Базовый год            | Проектный год          |
|------|---|----------------------------|------------------------|------------------------|
| 1    | Производство йогурта в натуральном выражении                    | т                          | 2500                   | 3000                   |
| 1.1  | Объем производства йогурта                                      | тыс. руб.                  | 37500                  | 45000                  |
| 2    | Потребление электроэнергии                                      | МВт·ч                      | 2570                   | 2307                   |
| 3    | Потребление энергоресурсов                                      | <u>т у.т.</u><br>тыс. руб. | <u>2397,4</u><br>17443 | <u>2364,7</u><br>16475 |
| 4    | Энергоемкость производства продукции                            | т у.т./<br>тыс. руб.       | 0,064                  | 0,053                  |
| 5    | Доля платы за энергоресурсы в стоимости произведенной продукции | —                          | 0,47                   | 0,19                   |

При затратах на реализацию проекта замены кожухотрубного теплообменника на пластинчатый разборный теплообменник, составляющих по предварительным оценкам 415 тыс. руб., срок простой окупаемости дополнительных капитальных затрат составит 0,41 года или около 5 месяцев. Результаты расчетов эффективности замены теплообменников представлены в табл. 2:

Таблица 2

Эффективность энергосберегающего мероприятия

| Мероприятие   | Годовая экономия |           | Затраты, тыс. руб. | Срок окупаемости, месяцев |
|---|------------------|-----------|--------------------|---------------------------|
|   | кВт·ч            | тыс. руб. |                    |                           |
| Замена кожухотрубного теплообменника на пластинчатый с рекуперацией тепла от 40 до 60 % | 263160           | 100,0     | 415,0              | 5                         |

При проведении расчетов установлено, что предлагаемое энергосберегающее мероприятие обеспечит высокую по своему значению эффективность, которая в денежной форме составит 2,41 руб./руб. дополнительных затрат.

Таким образом, можно сделать вывод, что рассмотренное мероприятие замены теплообменников является среднезатратным. Срок окупаемости составляет менее года (около пяти месяцев). Предлагаемая замена морально и физически устаревшего теплообменного оборудования на современное, технически более совершенное, дает существенный энергосберегающий эффект, повышает надежность работы технологической схемы и улучшает условия труда обслуживающего персонала.

## **СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОЙ КАРТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОАО «ЕЭСК» В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ *SMART CITY* И *SMART METERING***

Мухлынин Н.Д.<sup>1</sup>, Егоров А.О.<sup>1</sup>, Овчинников А.В.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>УрФУ, <sup>2</sup>ОАО «Екатеринбургская электросетевая компания»  
*mukhlynin@me.com, eao@daes.ustu.ru*

В последние годы энергетическое сообщество всё чаще начинает концентрировать своё внимание на создании электрических сетей нового поколения, задача которых обеспечить максимальную энергоэффективность. Одним из направлений решения данной задачи стало создание двух концепций: *Smart Grid* и *Smart Metering*, основная идея которых заключается во внедрении полного информационного обеспечения технологического, экономического и информационного управления энергоснабжением потребителей.

За счёт этого в настоящее время электроэнергетическая отрасль начинает превращаться в симбиоз различного технологического оборудования и информационной надстройки, позволяющей осуществлять мониторинг и управление процессом производства, передачи и потребления электроэнергии на всех иерархических уровнях. Поэтому идея создания единой информационной базы, которая обеспечивала бы связь оборудования и информационных потоков с одновременным отображением большого массива необходимой информации, в последнее время стала особенно остро обсуждаться в кругу энергокомпаний.

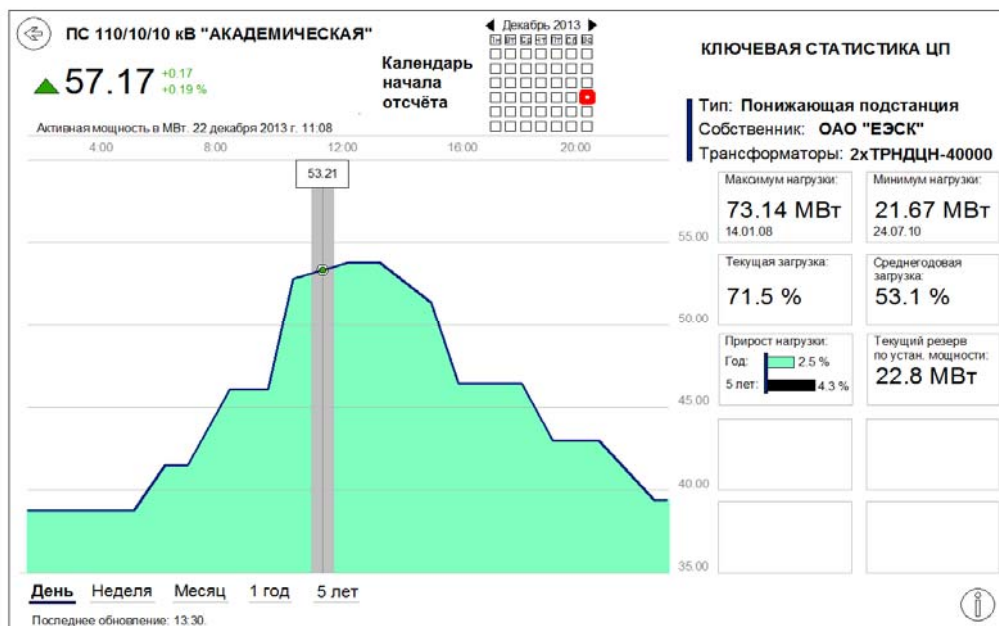
Основными достоинствами современных систем управления технологическими процессами являются их способность к структурированному отображению необходимой информации. Данные системы отвечают всем требованиям, предъявляемым к достоверности выводимой для пользователя информации, и имеют возможность сочетать отображение нескольких информационных потоков с одновременным автономным мониторингом всех наблюдаемых параметров. Именно данное направление развития интерактивных систем было положено в основу создания информационной надстройки для мониторинга и управления системой электроснабжения ОАО «ЕЭСК» в рамках концепций *Smart Grid* и *Smart Metering*.

На данный момент, проекты по созданию интерактивных карт уже реализованы во многих электросетевых компаниях России. Обзор имеющихся подобных систем показывает, что все они являются неудобными для восприятия информации и статическими, а именно: предоставляют пользователю исключительно архивную информацию об объекте не всегда в самом удобном виде. По-

этому такие системы нельзя называть в полной мере интерактивными. Под интерактивными системами следует понимать системы, способные организовать удобный диалоговый обмен визуальной информацией между человеком и технологическим процессом.

Для создания интерактивной карты предполагается использовать API одной из ГИС систем [1], на которую впоследствии будут нанесены все центры питания (ЦП), принадлежащие, либо арендуемые ОАО «ЕЭСК». Результатом должна стать карта системы электроснабжения Екатеринбурга с удобным отображением эксплуатационных и режимных параметров как для ЦП, так и возможностью их масштабирования для целых энергорайонов.

Отличительной особенностью, по сравнению с имеющимися подобными проектами, становится повышение значимости внедрения «умных» устройств на платформах *Laptop* и *Tablet PC* для управления собственной генерацией и потреблением энергии. Помимо этого, подразумевается разработка интерфейса рационального отображения необходимой информации. На рисунке представлен пример информационного окна одного из ЦП ОАО «ЕЭСК».



Информационное окно одного из ЦП ОАО «ЕЭСК»

Использование правильной системы отображения информации позволит легче решать проблемы, связанные с неточностью оперативных данных о текущем состоянии схемно-режимных параметров работы системы электроснабжения, уменьшить потери электроэнергии, повысить надёжность электроснабжения потребителей, сократить время на техническое присоединение новых нагрузок и т.п. Кроме того, информационная открытость данного проекта предполагает использование данной интерактивной системы потребителями, с целью оценки эффективности работы электроснабжающей компании.

Создание интерактивных карт накладывает определённые требования на системы сбора и передачи данных о схемно-режимном состоянии работы системы электроснабжения. Реализация непрерывного динамического мониторин-

га нуждается в разработке новых математических алгоритмов для устройств учёта электроэнергии, работу которых хорошо описывает концепция *Smart Metering*. Благодаря таким устройствам, в перспективе становится возможным управление распределительными сетями напряжением 35, 10, 6 кВ.

Таким образом, на основании вышесказанного планируется создание интерактивной карты нового поколения, способной реализовать обе концепции *Smart Grid* и *Smart Metering* для задач визуализации процесса электроснабжения Екатеринбурга и гибкого управления им. Данная карта может быть взята за основу для работы такого online сервиса, который бы обеспечивал подачу необходимой информации различным структурным подразделениям электроэнергетической отрасли. В дальнейшем вполне возможно внедрение дочернего подразделения картографического сервиса для непрерывного обновления стратегически важных данных об изменении состава работающего оборудования и конфигурации сети электроснабжения по данным протоколов.

Ожидается, что работа подобного сервиса приведёт к росту заинтересованности электросетевых компаний в постоянном расширении и функциональном развитии интерактивных карт. С другой стороны, активное использование специализированных карт другими энергокомпаниями создаст благоприятные условия для технического и экономического взаимодействия между участниками энергообмена и приведёт к снижению себестоимости транспорта электрической энергии.

#### *Библиографический список*

1. API Яндекс. Карт [Электронный ресурс]. URL: <http://api.yandex.ru/maps/>.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАХОВИЧНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ**

*Нагорских В.С., Ларьков Н.С.*

*Уральский государственный аграрный университет (УрГАУ)*

Рассматриваются вопросы применения маховичных накопителей энергии в сельскохозяйственной технике в качестве инерционных двигателей для различных отраслей сельского хозяйства, приведён обзор существующих зарубежных конструкций маховичных накопителей энергии, устройство и основы расчёта.

Ключевые слова: маховичные накопители энергии, анализ зарубежных аналогов, устройство, основы расчёта, экономичность.

На современном этапе развития наша цивилизация является энергопотребляющей. И энергопотребление растёт с каждым днём.

Рост объёмов использования энергии и транспорта является индикатором экономического развития. Энергия является ключевым фактором социально-экономического развития. Она также находится в центре экономических, социальных и экологических целей устойчивого развития. Овладение способами управления энергией значительно расширило возможности человека, позволив ему пользоваться беспрецедентной производительностью, мобильностью и комфортом [1].

При этом большая часть потребляемой энергии вырабатывается из нефтепродуктов.

Как показывает опыт более развитых стран, доля нефтепродуктов в энергобалансе нашей страны должна возрасти, по крайней мере, до 40-50 %, как это имело место в Северной Америке и Западной Европе.

Для стран с переходными экономиками, включая Китай, можно ожидать роста спроса на нефть в дальнейшем, поскольку имеются сферы, где нефтепродукты по-прежнему остаются вне конкуренции, – это мобильные энергетические установки – моторы и двигатели, скоростное машиностроение. Спрос на моторное топливо будет расти в связи с развитием особенно малого и личного транспорта. Можно ожидать, что в своей максимальной точке расход нефтепродуктов на душу населения возрастёт здесь, по крайней мере, в 2-3 раза [2].

При этом большая доля потребления нефтепродуктов приходится на сельское хозяйство. Только в 2006 году потребность в дизельном топливе составила 6,1 млн т, автобензина – 2,4 млн т [3].

Как видим, двигатели внутреннего возгорания (ДВС) заняли широкую нишу в энергопотреблении, это вызвано удельной электроёмкостью топлива: один килограмм бензина при сжигании выделяет 12-14 кВт·ч, что примерно в 60 раз больше чем может накопить свинцовый аккумулятор массой 10 кг (таблица).

Но у ДВС есть ряд существенных недостатков. Так при высокой энергоёмкости нефтепродуктов, КПД ДВС очень низок – 25-30 % (таблица). Двигатели внутреннего сгорания требуют постоянного ухода, очень сложны в изготовлении и весьма вредны для окружающей среды, как в использовании, так и в транспортировке и хранении топлива: «Август 2003 года. Пакистан. Гибель танкера «Tasman Spirit». В результате гибели танкера в море вытекло 28000 тонн сырой нефти. Загрязнены порт, внешняя акватория порта и пляжи Карачи» [4].

Кроме того, нефть и газ – это исчерпываемые ресурсы, цена которых постоянно растёт, что весьма ощутимо сказывается на стоимости производимой продукции.

Необходимость более широкого внедрения электрического привода для мобильных энергетических установок становится актуальной с каждым днём.

Но действительно ли электромобили – чистые, и не лучше ли совершенствовать ДВС и гибридные системы? Ответ у калифорнийских инженеров таков. Tesla Roadster – самый чистый и энергетически эффективный серийный автомобиль в мире. Но о какой чистоте идёт речь, если никакого выхлопа тут нет? Авторы родстера высчитали полный КПД автомобилей разных типов, проследив весь путь «энергии» от нефтяной скважины и до непосредственно ведущих колёс машины. В случае с бензиновыми и дизельными авто – это была добыча и переработка нефти, КПД собственно ДВС и трансмиссии машин, ну и в целом – их расход топлива на 100 километров. В случае с электромобилем – добыча топлива (газа), сжигание его на тепловых станциях, выработка электроэнергии, передача её по сети, зарядка автомобиля, полный КПД его электрических систем и затраты электричества, выкаченного из розетки. Кстати, Tesla тратит

110 ватт-часов на километр пути, что в пересчёте на бензин эквивалентно расходу в 1,74 литра на 100 километров.

В результате всех этих подсчётов у Tesla Motors получилось, что каждый мегаджоуль исходной (в скважине) химической энергии у автомобилей с одним ДВС (дизелем или бензиновым) превращался в 0,48-0,52 километра пробега, у автомобилей-гибридов (ДВС плюс электромотор) – 0,56 километра, а у Tesla Roadster – в 1,14 километра пробега.

Это значит, что в целом для природы такой автомобиль действительно «милее». Любопытно также, что по выкладкам Tesla Motors получилось, что машины на водороде и топливных элементах (при получении водорода из природного газа), а также машины с ДВС, работающие на сжатом природном газе – по суммарной эффективности проиграли всем упомянутым выше типам автомобилей, показав 0,32-0,35 километра на исходном мегаджоуле.

А это значит, что пока не найдено иных решений для снижения загрязнения атмосферы, не только в городах, но и в целом на планете – выгодней строить электромобили и развивать, расширять и совершенствовать электростанции» [5].

Но широкому использованию электропривода в мобильных энергоустановках мешает отсутствие аккумулирующих систем, обладающих большой энергоёмкостью, дешёвых, экологически чистых, мобильных, простых в обслуживании, способных составить конкуренцию ДВС.

Химические аккумуляторы относятся к категории источников энергии многоразового действия. Накопление энергии в них происходит при протекании химической реакции окисления – восстановления электродов. При разряде имеют место обратные процессы. На сегодняшний день выпускаются свинцовые, железо-никелевые, никель-кадмиевые, серебряно-цинковые, серно-натриевые, медно-литиевые и иные аккумуляторы. Среди них наибольшее распространение получили свинцовые (или свинцово-кислотные) аккумуляторы благодаря надёжности и относительно невысокой цене. Их основным достоинством является стабильность напряжения при изменении тока нагрузки и температуры. В свинцово-кислотных аккумуляторах, выполненных по классической технологии, в качестве электролита используется раствор серной кислоты в дистиллированной воде. Его плотность, меняющаяся в процессе разряда и заряда и зависящая от температуры раствора, в значительной мере влияет на технические характеристики аккумулятора. А вследствие выделения газов (водорода и кислорода) при работе и хранении такие аккумуляторы оказывают вредное влияние на людей и на аппаратуру. Они наиболее дешёвы, но требуют специальных помещений, а также дополнительных затрат на обслуживание.

В отличие от химических аккумуляторов маховики долговечны (до 20 лет), практически не требуют обслуживания, экологически чисты и имеют высокий КПД.

Как видно из таблицы, маховики могут на равных конкурировать с ДВС. Стоит учитывать и то, что ДВС практически достигли предела своего развития, в то время как ёмкость маховика ограничивается только прочностью материала, из которого он изготовлен.



В последнее время учёные создают всё более прочные материалы, что открывает большие перспективы для использования маховичных накопителей в различных отраслях народного хозяйства. Уже создаются стационарные энергетические установки, основанные на накоплении энергии маховиком.

Американская компания Beacon Power, основанная в 1997 году, создала целую линейку тяжёлых стационарных супермаховиков, предназначенных для включения в промышленные энергосети [6].

С экономической точки зрения разработка кластеров массивных супермаховиков, подобным разработкам Beacon Power, в нашей энергетике может принести значительную прибыль с учётом вводимого ограничения по тарифам для АЭС и ТЭС, не участвующих в регулировании частоты сети. Не надо забывать и о повышении надёжности и безопасности оборудования АЭС и ТЭС, при условии постоянной работы в базовом режиме без колебаний в мощности» [7].

Но применение маховиков экономически выгодно не только в этой сфере. Стоимость 1 кВт·ч энергии, выработанной ДВС, составляет около 7 рублей; электроэнергия, накопленная и отданная маховиком, обходится в 2 руб./кВт·ч, а с использованием рекуперации – и того меньше. Маховичные накопители могут быть востребованы для применения в сельскохозяйственном производстве небольших (30 кВт) мобильных аккумулирующих систем.

Плотность аккумулируемой энергии в различных устройствах и материалах\*

| Устройство<br>(материал)       | Плотность<br>энергии,<br>кВт·ч /кг* | КПД,<br>% | Плотность энергии<br>кВт·ч /кг*<br>с учётом КПД |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|---|
| Бензин                         | 13,0-14,0                           | 25-30     | 3,25-4,2  |
| Свинцово-кислотный аккумулятор | 0,025-0,04                          | 96-98     | 0,02-0,039                                      |
| Стальной маховик               | 0,05                                | 96-98     | 0,049   |
| Маховик из стального волокна   | 0,215-0,5                           | 96-98     | 0,21-0,49                                       |
| Маховик из кварцевого стекла   | 0,9                                 | 96-98     | 0,88  |
| Кольцевой маховик              | 1,4-4,17                            | 96-98     | 1,36-4,0  |

\* вес мотора и генератора, двигателей не учтён [8]

#### Библиографический список

1. <http://grida.no/geo/geo3/russian/086.htm>
2. <http://ehighenergy.info/st.htm>
3. <http://www.mcx.ru>
4. <http://odin.tc/disaster/tankers2.asp>
5. <http://www.membrana.ru/articles/technic/2006/07/20/210700.html>
6. <http://www.proatom.ru>
7. <http://www.a-energy.ru>
8. Гулиа Н.В. Накопители энергии. М.: Наука, 2006. 150 с.
9. Ristinen R.A. and Kraushaar J.J. Energy and the Environment. New York: John Wiley & Sons, 1999. 367 p.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕРВЕРОВ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Носков И.Ю., Степанов О.А.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет  
ivan.noskov.tmn@gmail.ru

Последние двадцать лет во всем мире активно развивается одна из ветвей сектора информационных технологий, а именно строительство и эксплуатация центров обработки данных (ЦОД). Без стабильно работающих ЦОД невозможна работа телекоммуникационного и информационного сектора экономики. Быстрая обработка и передача данных – факторы, определяющие инновационный характер развития страны.

Одна из проблем современных ЦОД – увеличение энергопотребления при растущей стоимости электроэнергии. Вместе с увеличением энергопотребления растет и необходимость отводить тепло.

В работе проведён анализ режима движения воздуха внутри стойки ЦОДа по трубопроводу, найдены оптимальные значения отношения количества отводимой теплоты, необходимого для охлаждения оборудования, к величине затраченной работы потоков воздуха на преодоление сил трения.

Описанный метод рассматривается на примере закрытой системы кондиционирования центров обработки данных. Закрытая система имеет ряд преимуществ по сравнению с классической открытой системой: данная система позволяет свести к минимуму передачу теплоты за границы стойки.

Введём величину отношения количества теплоты к величине затраченной работы:

$$\frac{Q}{L} = \frac{G \cdot C_p \cdot dT}{V dP} \quad (1)$$

Воздух, перемещаемый по воздухопроводу системы кондиционирования, рассматривается как несжимаемая жидкость. Это вполне допустимо, т. к. давление, действующее в воздуховоде этой системы, незначительное.

При движении воздуха в воздуховоде давление расходуется на трение воздуха о поверхности стенок воздуховода ( $L$ ) и на преодоление местных сопротивлений.

Проинтегрируем правые части выражения:

$$\frac{Q}{L} = \frac{G \cdot C_p \cdot (t_n - t_{np})}{V \cdot (P_1 - P_2)} \quad (2)$$

Сопротивления трения непрерывны и наблюдаются по всей длине воздухопроводов. Заменим величину разности давления через уравнение Дарси-Вейсбаха, а расход воздуха через соотношение  $G = VS$ , где  $V$  – объёмный расход воздуха,  $S$  – площадь поперечного сечения подающего трубопровода:

$$\frac{Q}{L} = \frac{G \cdot C_p \cdot (t_n - t_{np})}{V \cdot \lambda_{TP} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \cdot \frac{l}{d}} = \rho \cdot \frac{C_p \cdot (t_n - t_{np})}{\lambda_{TP} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \cdot \frac{l}{d}} = 2 \cdot \frac{C_p \cdot (t_n - t_{np}) \cdot d}{\lambda_{TP} \cdot w^2 \cdot l} \quad (3)$$

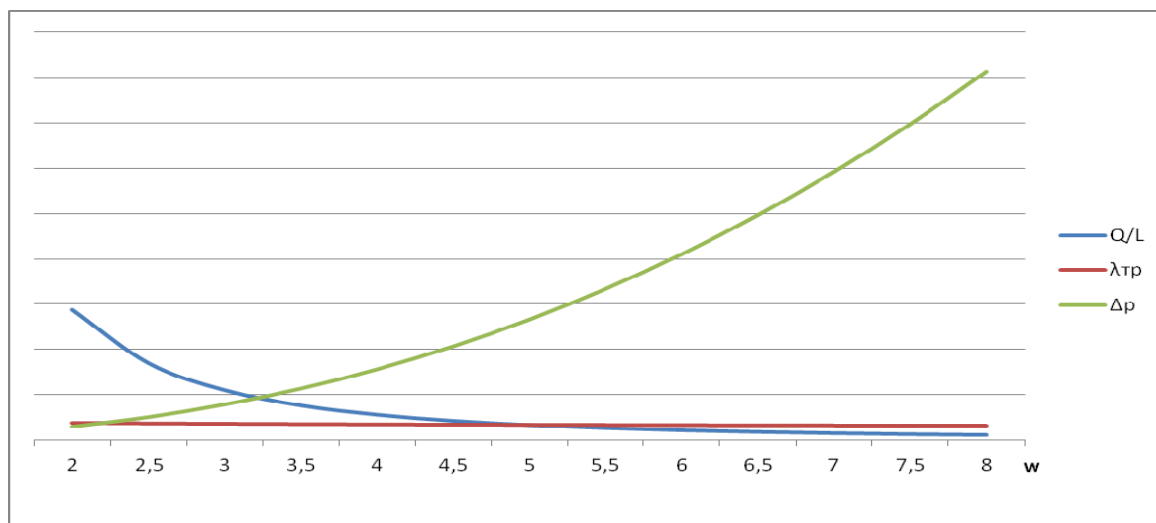
Так как отношение массового расхода к объёмному расходу представляет собой плотность воздуха в воздуховоде, можно записать

$$\frac{G}{V} = \rho \quad (4)$$

$$\frac{Q}{L} = 2 \cdot \frac{C_p \cdot (t_n - t_{np}) \cdot d}{\lambda_{TP} \cdot w^2 \cdot l} \quad (5)$$

Результаты аэродинамического расчёта канала воздушного потока представлены в таблице и на графике (рисунок).

| Q/L   | w   | Re     | d    | $\lambda_{TP}$ | $\Delta p$ | l | v(возд)  | V, м³/с |
|-------|-----|--------|------|----------------|------------|---|----------|---------|
| 143,5 | 2   | 75647  | 0,61 | 0,0191         | 0,151      | 2 | 0,000016 | 0,58    |
| 84,4  | 2,5 | 84576  | 0,54 | 0,0186         | 0,257      |   |          |         |
| 54,8  | 3   | 92649  | 0,49 | 0,0181         | 0,396      |   |          |         |
| 38,0  | 3,5 | 100072 | 0,46 | 0,0178         | 0,572      |   |          |         |
| 27,7  | 4   | 106982 | 0,43 | 0,0175         | 0,785      |   |          |         |
| 20,9  | 4,5 | 113471 | 0,40 | 0,0172         | 1,038      |   |          |         |
| 16,3  | 5   | 119609 | 0,38 | 0,0170         | 1,334      |   |          |         |
| 13,0  | 5,5 | 125447 | 0,36 | 0,0168         | 1,672      |   |          |         |
| 10,6  | 6   | 131025 | 0,35 | 0,0166         | 2,056      |   |          |         |
| 8,7   | 6,5 | 136375 | 0,34 | 0,0165         | 2,487      |   |          |         |
| 7,3   | 7   | 141523 | 0,32 | 0,0163         | 2,965      |   |          |         |
| 6,2   | 7,5 | 146491 | 0,31 | 0,0162         | 3,493      |   |          |         |
| 5,3   | 8   | 151295 | 0,30 | 0,0160         | 4,072      |   |          |         |



Таким образом, основными параметрами, обеспечивающими достижение оптимального энергетического и экономического эффекта, являются скорость движения потока и геометрические размеры направляющего трубопровода.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ ТОРФА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

*Осинцева Г.Ю., Головских Д.С., Журавлев А.В., Гревцев Н.В., Горбунов А.В.*

*Уральский государственный горный университет  
alexgorbunov72@mail.ru*

Все способы добычи торфа базируются на полевой сушке торфа, интенсивность которой во многом определяется параметрами расстила. С этой точки зрения многослойный растил фрезерной крошки (существующего в настоящее время, практически единственного способа добычи торфа) не удовлетворяет условию полного использования метеорологических условий – интенсивность сушки фрезерного торфа в слое составляет лишь 40...50 % испаряемости, т. е. используется лишь 50...60 % тепла, поступающего на поверхность поля сушки. Интенсивность сушки кускового торфа значительно выше и приближается к испаряемости. Но использовать это преимущество перед фрезерным способом не позволяют более высокие начальное влагосодержание и энергоемкость процесса (переработки и формования) добычи.

Увеличение производства торфяной продукции в последующие годы намечаются главным образом за счет освоения месторождений верхового типа, имеющих верхние слои слаборазложившегося торфа.

При разработке этих залежей фрезерным способом получается продукция низкого качества: с малой насыпной объемной плотностью и повышенной водопоглощаемостью; цикловые сборы торфа колеблются в пределах 6...9 т/га при двухдневном цикле, а количество циклов снижается на 20...30 %. При хранении такого торфа в штабелях происходит его саморазогревание и самовозгорание, торф обладает плохой сыпучестью и низкой теплоплотностью.

Одним из путей улучшения производственных показателей и качества продукции при разработке указанных залежей является введение в технологический процесс операции по переработке и формованию торфа в однородные частицы определенных размеров (гранул, мелкий кусок и др.).

Расчетами установлено, что на залежах с мощным верхним слоем торфа слабой степени разложения сезонные сборы могут достигать 600...700 т/га, что в 1,5...2 раза выше, чем при производстве фрезерного торфа с одинаковой исходной характеристикой залежи. При разработке залежи с наличием верхнего слоя торфа слабой степени разложения возникает сложная задача – получение продукции, не уступающей по качеству торфяному топливу, полученному фрезерным способом, на залежах со средней и высокой степенью разложения. Экспериментальные работы подтвердили, что торфяное окускованное топливо удовлетворительной насыпной плотности (0,25...0,3 т/м<sup>3</sup>) можно получить из торфа со степенью разложения не ниже 15 % и влажностью 87...88 % с затратами энергии 0,5...0,7 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Торф со степенью разложения 15 % может быть получен перемешиванием верхних и нижних слоев залежи глубиной не менее 1 м в процессе экскавации при разработке 70 % вновь осваиваемых площадей торфяных месторожде-

ний северо-западной зоны, имеющих верхний слой торфа некондиционной степени разложения.

Торфяные залежи степенью разложения свыше 15 % целесообразно разрабатывать уступно-послойным способом экскавации. Это позволит за счет снижения начальной влажности торфяной массы при формовании до 80 % получить продукции с плотностью более 300 кг/м<sup>3</sup> при тех же удельных затратах энергии. Кроме того, переход на разработку торфяных залежей пониженной начальной влажности позволит уменьшить продолжительность циклов сушки и тем самым поднять надежность производства более однородной по качеству торфяной продукции.

Из торфяных залежей разных качественных характеристик можно получить однородную по насыпной плотности продукцию за счет введения в перерабатывающие устройства системы управления диспергированием торфяной массы.

Разработанный в УГГУ экологически и экономически обоснованный способ добычи формованного торфа полевым способом с применением в технологии термической обработки торфомассы при формовании, применении сушки в наслаиваемом расстиле и естественной и искусственной досушки торфа в складочных единицах, позволяет резко повысить эффективность производство торфяной и продукции (таблица) для использования практически во всех отраслях хозяйства.

Сведения о технологических операциях

| Технологические операции   | Управляющие технологические параметры   | Физико-технический эффект  | Управляющие технологические параметры  |
|--|---|--|--|
| Тепломелиорация производственных площадей фрезерованием мерзлого слоя залежи | Толщина фрезерованного слоя залежи повышается   | Повышение теплоизолирующей способности сфрезерованного слоя; снижение глубины промерзания залежи | Продолжительность сезона, сезонный сбор повышаются   |
| Поверхностная термообработка торфа при формовании                            | Энергозатраты на термообработку торфа повышаются  | Снижение влагопоглощательной способности формованного торфа                                      | Продолжительность сушки торфа снижается  |
| Сушка формованного торфа в наслаиваемом расстиле                             | Удельная загрузка поля сушки повышается   | Изменение режима сушки и повышение эффективности использования радиационного баланса             | Сезонные сборы торфа повышается; крошимость готовой продукции снижается                            |
| Досушка убранного торфа в складочных единицах                                | Влагосодержание торфа, убираемого из расстила, повышается<br>Продолжительность досушки торфа в складочных единицах повышается | Изменение режима сушки и снижение влагосодержания торфа  | Сезонные сборы торфа повышаются, влагосодержание снижается; крошимость готовой продукции снижается |

Исследованиями термических способов воздействия на торф установлено, что при формировании торфа через нагреваемую насадку давление формирования снижается на 15...20 %, а производительность насадки возрастает в 1,5...1,9 раза. Результаты исследований использованы при разработке способов кратковременной термической обработки торфа со стационарным нагревателем – электрическим и подвижным теплоносителем – газовым пламенем.

Сушка термообработанного торфа происходит более интенсивно. В большей мере этот эффект проявляется при высоких значениях влажности воздуха и при выпадении осадков в начальный период сушки в течение первых двух-трех суток. В этот период, в зависимости от погодных условий, скорость сушки термообработанного торфа больше на 10-20 %.

Поверхностная термообработка торфа при формировании в 2-3 раза снижает его водопоглощаемость, повышает прочность готовой продукции на 15,5...26,2 % из-за изменения пористой структуры при термообработке.

Закономерности процесса сушки сформованного кускового торфа в наслаиваемом организованном и неорганизованном расстилах свидетельствуют о том, что наслаиваемый расстил интенсифицирует технологический процесс благодаря более полному использованию для сушки торфа энергии солнечной радиации. Величина суммарного испарения для трехслойного расстила в 1,53...2,47, а для четырехслойного в 1,48 раза превышает этот показатель для однослойного расстила, сезонные сборы возрастают в 1,4...2,36 раза, прочностные показатели готовой продукции – в 1,6...1,8 раза, крошимость – уменьшается более чем в пять раз. Предложены практические рекомендации по осуществлению наслаиваемого расстила в производственных условиях.

Расчеты технологических показателей для обычной сушки и предполагаемой технологии с применением досушки его во временных штабелях малого сечения, в штабелях длительного хранения с применением естественной и принудительной вентиляции, выполненные на основе метеорологических данных Басьяновского торфопредприятия, показали, что плановые сезонные сборы повышаются на 48,5 % и составляют 596 т/га. Уборочное влагосодержание изменяется в пределах 0,67...1,5 кг/кг и составляет в среднем 1,01 кг/кг, а количество ежегодно досушиваемого торфа – 69 % от сезонной программы.

## **РАЗРАБОТКА ДВУХТАРИФНОГО СЧЕТЧИКА ГВС**

*Патапова А.В., Заринов Р.А., Худяков П.Ю., Жилкин Б.П.  
УрФУ, [lumen\\_xp@mail.ru](mailto:lumen_xp@mail.ru)*

В последнее время двухтарифные счетчик горячей воды с термодатчиком становится все более актуальным, так как простые тахометрические расходомеры не обеспечивают контроль несоответствия параметров качества ГВС из-за снижения температуры горячей воды, что приводит к необоснованному завышению стоимости данного вида услуг.

Многие замечали, что вода из крана горячей воды сначала течет холодная или чуть теплая. При этом она проходит через счетчик горячей воды, тариф за

которую в 5 раз превышает тариф за холодную. Подобная ситуация может быть вызвано различными причинами:

1. Сам поставщик ГВС может выдавать в сеть воду ненадлежащей температуры.

2. Наличие сверхнормативных потерь в сетях.

3. Застойное явление и остывание воды во внутридомовых коммуникациях из-за перехода на индивидуальные системы нагрева воды в жилых домах с повсеместным отключением циркуляционных трубопроводов (наиболее вероятная причина).

В этом случае потребитель несет дополнительные расходы при оплате условно горячей воды по несоответствующему тарифу.

Двухтарифный счетчик горячей воды с термодатчиком позволяет учитывать не только расход горячей воды, но и количество потребляемой тепловой энергии, что приводит к значительной экономии.

При установке счетчиков подобного типа возникает несколько проблем.

Первая проблема связана с согласованием установки данного прибора с управляющей компанией. Многие УК не устанавливают двухтарифные счетчики потребителям, так как для них это не выгодно. Утверждают, что это незаконно и что они не сертифицированы, тем самым пользуясь незнанием потребителей.

На самом деле двухтарифные счетчики законны, и, более того, их устанавливают частные компании.

Правомерным документом является Постановление Правительства РФ от 6.05.2011 г. № 354, где сказано:

1. При снижении температуры горячей воды ниже 40 °С оплата потребленной воды производится по тарифу холодной воды.

2. УК не вправе препятствовать установке собственником прибора учета, даже если оно конструктивно отличается от общедомового.

Следуя этому документу, потребитель может установить у себя сертифицированный и поверенный расходомер, который воду выше 40 °С будет считать по тарифу горячей воды, а ниже 40 °С – по тарифу холодной воды.

Примерами таких счетчиков являются: СГВ-15-Интел, Т-21 Комбик, СТ-10, ЛВ-4Т 4-х тарифный. Все они сертифицированы и поверены, то есть их законно устанавливать в российских квартирах.

Вторая проблема – расчет общедомового потребления. В случае закрытой системы ГВС потери появляются только из-за застоев воды в стояках. Жильцы платят как за общедомовое потребление. Такая система должна регулироваться по температуре теплоносителя.

В случае открытой системы ГВС нужно рассмотреть 3 варианта:

1. С теплосчетчиком. Потери относятся к общедомовым.

2. С расходомером. Небаланс распределяется на жильцов, у которых не установлены счетчики с термодатчиком.

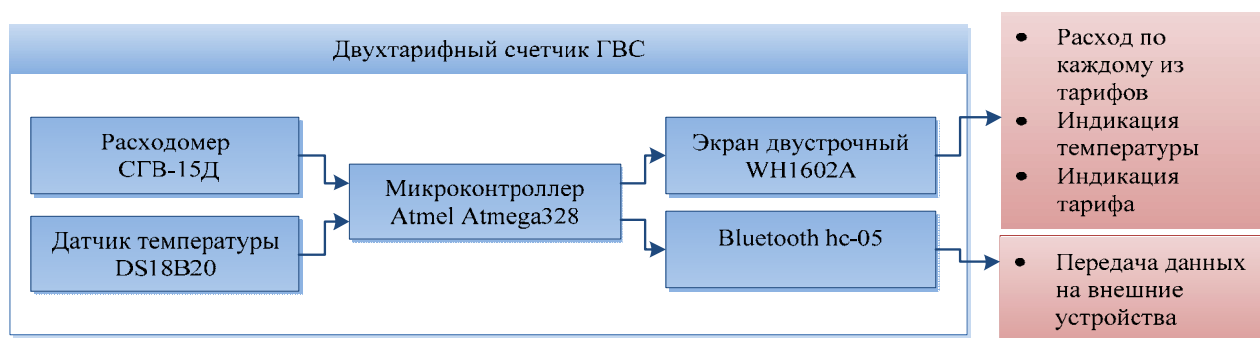
3. Без узлов учета. Потери рассчитываются по нормативам.

В лучшем случае общедомовой счетчик должен быть двухтарифный и небаланс считается как общедомовые потери.

Аппаратная часть счетчика состоит из следующих элементов:

- Расходомер Бетар СГВ-15Д с импульсным выходом. Номинальный расход: 1,5 м<sup>3</sup>/ч. Порог чувствительности: 0,015 м<sup>3</sup>/ч. Счетчики зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений Российской Федерации под № 16078-05.
- Цифровой термометр DS18S20 с интерфейсом 1-wire. Диапазон измеряемых температур: -55 +125 °С. Точность измерения: ±0,5 °С. Данный тип приборов зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 23169-02.
- Микроконтроллер Atmel Atmega328.
- Экран двухстрочный Winstar WH1602A 16x2.

Структурная схема двухтарифного счетчика приведена на рисунке.



Структурная схема двухтарифного счетчика ГВС

Измерение расхода производится с помощью импульсного выхода СГВ-15Д, данные о температуре передаются с датчика DS18S20 посредством интерфейса 1-wire.

На экран выводится не обнуляемый итог показаний по каждому тарифу.

В случае установки дополнительных опций, таких как часы реального времени DS1307 и Bluetooth модуль HC-05, появляется ряд полезных функций, таких как:

- Снятие показаний при помощи внешних устройств с интерфейсом Bluetooth, таких как смартфоны и планшеты.
- Контроль текущего минутного расхода и расхода за месяц.
- Возможность расчета стоимости потребленных ресурсов в режиме реального времени.
- Введение многотарифной системы расчета с потребителем на основании показаний датчика температуры и зоны суток.

Возможно сохранение детального отчета в энергонезависимую память для анализа и поиска путей оптимизации расходов пользователями.

Снятие показаний происходит бесконтактным способом с помощью любого смартфона через интерфейс Bluetooth в одно нажатие, после чего данные могут быть отправлены в РЦ для начисления платежей.

При отключении электрической энергии счетчик переходит в режим пониженного энергопотребления, отключаются модули связи и дисплей. В таком



режиме счетчик может продолжать контроль расхода в течение 24 часов. В случае разряда батареи, данное событие фиксируется в энергонезависимой памяти прибора.

Применение измерительного прибора данного класса позволит существенно снизить затраты на энергоресурсы и даст возможность детального анализа данных об энергопотреблении с целью оптимизации последнего.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ УСТАНОВОК**

*Петракович М.А., Абдулгужина И.Р., Демин Ю.К., Матвеев С.В., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
dyomin.ura@yandex.ru*

На современном этапе в промышленности реализуется масштабный тепловой процесс с температурными уровнями до 1600 °С.

В черной металлургии к таким процессам можно отнести выплавку стали в дуговых сталеплавильных печах и разливку стали в машинах непрерывного литья заготовок.

В большинстве случаев для охлаждения высокотемпературных тепловыделяющих установок в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода в температурном интервале 5-40 °С, из-за опасности выпадения солей жесткости. В результате выделяемая в процессе тепловая энергия рассеивается в атмосферу в виде низкопотенциального тепла.

Профессором Андоньевым С.М. [1] было предложено подавать для охлаждения нагретых элементов оборудования химочищенную воду под давлением. Вода нагревается до образования пароводяной эмульсии, при этом используется скрытая теплота парообразования, т.е. тепло, отбираемое охлаждающей водой, затрачивается на ее испарение и на выходе может получиться сухой насыщенный пар.

Также было предложена замена охлаждающей воды на жидкометаллические теплоносители [2, 3] с последующей подачей его в вынесенный парогенератор с получением перегретого пара.

В данной работе ставится задача сравнения двух рассмотренных выше способов. Для этой цели был использован эксергетический метод термодинамического анализа [4].

Для расчетов был рассмотрен высокотемпературный процесс с тепловыделением  $Q=1$  кДж. Были рассчитаны масса получаемого пара и увеличение эксергии потока энергоносителя (вода-пар).

Питательная вода поступает при температуре 27 °С. При испарительном охлаждении на выходе получается сухой насыщенный пар, при вынесенном парообразовании на выходе получается перегретый пар при температуре 540 °С. Расчеты были проведены для давления воды и пара равном 12,5 МПа (наиболее

распространенное в паротурбинных циклах [5]) и 22 МПа (максимально возможное).

Формулы, которые использовались в расчетах:

$$m = \frac{Q}{(h_k - h_g)},$$

$$\Delta E = m * (h_k - h_g - T_0 * (S_k - S_g))$$

где  $h_k$  – конечная энтальпия выходящего пара,  $h_g$  – начальная энтальпия входящей воды,  $T_0$  – температура окружающей среды, равная 20°С,  $S_k$  – конечная энтропия выходящего пара,  $S_g$  – начальная энтропия входящей воды.

Результаты расчетов представлены на рис. 1 и 2.

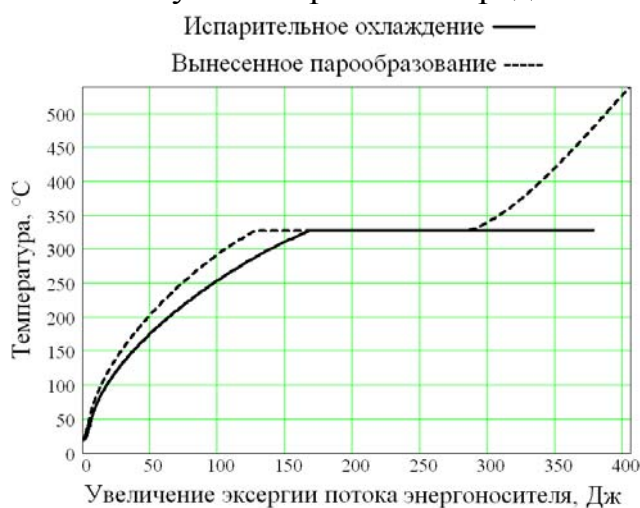


Рис. 1.  $\Delta E$  при давлении пара 12,5 МПа

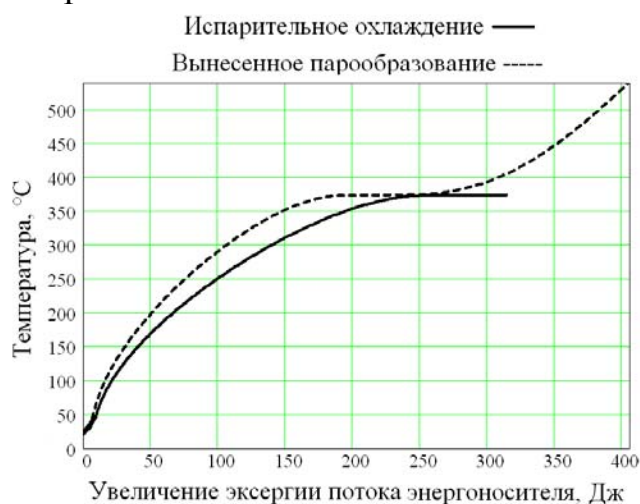


Рис. 2.  $\Delta E$  при давлении пара 22 МПа

Из рис. 1 и 2 видно, что при давлении выходящего пара 12,5 МПа увеличении эксергии потока энергоносителя при испарительном охлаждении составляет 377,867 Дж, а при вынесенном парообразовании – 405,387 Дж, что на 6,8 % больше чем при испарительном охлаждении. При давлении выходящего пара 22 МПа увеличении эксергии потока энергоносителя при испарительном охлаждении составляет 294,684 Дж, а при вынесенном парообразовании – 405,149 Дж, что на 27,3 % больше чем при испарительном охлаждении.

Таким образом, увеличение эксергии потока энергоносителя при вынесенном парообразовании всегда больше, чем при испарительном охлаждении. Эта разница увеличивается с ростом давления получаемого пара.

Учитывая все вышесказанное, можно сделать вывод, что использование для охлаждения высокотемпературных тепловыделяющих установок жидкометаллического теплоносителя с последующим получением перегретого пара вместо испарительного охлаждения приведет к сокращению потерь от необратимости и увеличению к работоспособности получаемого пара.

#### Библиографический список

1. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей. М.: Металлургия, 1970. 424 с.
2. Матвеев С.В., Картавец С.В. Теплота жидкой стали как источник энергии // Энергосбережение-теория и практика: Труды шестой международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. М.: МЭИ, 2012. С. 193-194.

3. Матвеев С.В., Картавец С.В. Использование энергии тепловыделяющих процессов черной металлургии // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции. Магнитогорск: МГТУ, 2013. С. 42-45.
4. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. М.: Энергия, 1973. 296 с.
5. Баженов М.И. Промышленные тепловые электростанции / М.И. Баженов, А.С. Богородский, Б.В. Сазанов, В.Н. Юренев; под ред. Е.Я. Соколова. М.: Энергия, 1979. 296 с.

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКАЗА ОТ КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ (до 10 кВт) В УСЛОВИЯХ ОАО «Синарский трубный завод»**

*Пильчугов А.В., Суворов А.Д., Костин А.А., Балдин В.Ю.  
ОАО «Синарский трубный завод», Институт теплофизики УрО РАН, УрФУ  
foxic\_alex@mail.ru*

Постоянная работа предприятий по снижению издержек на производство продукции, а также стремление к повышению энергетической эффективности производственных процессов обусловили выбор и дальнейшую разработку данной темы. При этом было уделено внимание действующим нормативным документам, вектору развития предприятия, мировому опыту решения поставленной задачи в развитых странах и апробации в условиях ОАО «СинТЗ».

Ремонт электрических машин малой мощности зачастую является нецелесообразным, так как имеет высокую стоимость в сравнении с покупкой нового двигателя. Исключением являются двигатели различного промышленного оборудования, замену или аналог которым найти практически невозможно.

В работе проведено сравнение электропотребления электрических машин общепромышленной серии АИР одного типа (нового и прошедшего капитальный ремонт), а также показана нецелесообразность капитальных ремонтов электрических машин общепромышленной серии АИР малой мощности (до 10 кВт) с экономической точки зрения.

Предложенное решение позволяет добиться повышения надежности работы электрических машин малой мощности для установленных интервалов мощностей и снизить затраты на ремонт этих машин. При этом будет достигаться уменьшение потребления электрической энергии указанными машинами, что соответствует мировым тенденциям, приоритетным направлениям развития науки, техники и технологии в России, а также требованиям федерального законодательства и государственной программы Российской Федерации по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Европейский опыт аналогичных решений показывает, что применение электрических машин оптимальных характеристик значительно выгоднее, чем восстановление этих характеристик методами ремонта в производственных условиях неспециализированных предприятий.

Ценным является отсутствие прямых затрат на реализацию предложенных мероприятий, и даже снижение необходимых издержек на замену подлежащих ремонту электрических машин, что делает это предложение экономически привлекательным и несомненно выгодным для промышленных предприятий, в массовом порядке использующих электрические машины малой мощности, и ОАО «СинТЗ» в частности.

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МОСТОВОГО КРАНА**

*Полунин Ф.А., Браславский И.Я., Плотников Ю.В.  
УрФУ, i.ya.braslavskiy@ustu.ru, plotnikovyv@mail.ru, carnage@list.ru*

### *1. Введение*

Мостовые краны производят большую часть подъемно-транспортных работ во многих отраслях народного хозяйства. От их надежной и бесперебойной работы зависят производительность предприятия, его технико-экономические показатели и безопасность обслуживающего персонала.

В современных мостовых кранах хорошо зарекомендовали себя асинхронные электроприводы с преобразователями частоты. Большинство современных двухзвенных преобразователей частоты построено по типовой схеме и состоит из трех основных элементов: неуправляемый выпрямитель, промежуточный фильтр в звене постоянного тока и автономный инвертор напряжения [1]. При работе электропривода с преобразователем частоты в тормозном режиме энергия, поступающая от асинхронного двигателя через автономный инвертор напряжения в звено постоянного тока, рассеивается на тормозном сопротивлении, то есть используется неэффективно. Существуют и другие, более дорогостоящие способы утилизации энергии, но у них есть свои недостатки.

В данной работе рассматривается новый подход к повышению энергетической эффективности частотно-регулируемых электроприводов крановых механизмов с использованием, так называемых, суперконденсаторов. Суперконденсаторы (ультраконденсаторы, электрохимические двухслойные конденсаторы) – это относительно новый тип конденсаторов, который в настоящее время все чаще используется в различных энергосберегающих технологиях [2]. Благодаря своим конструктивным особенностям суперконденсаторы обладают емкостью на несколько порядков больше, чем традиционные конденсаторы [3].

Таким образом, еще один вариант утилизации энергии, вырабатываемой в тормозных режимах работы электропривода, – хранение в суперконденсаторах и дальнейшее использование при переходе электропривода обратно в двигательный режим.

Наибольшая экономическая эффективность электропривода с суперконденсаторами достигается в механизмах с интенсивными периодическими режимами работы и активной нагрузкой. Одним из таких механизмов и является мостовой кран.

Задачей данного исследования является оценка экономической эффективности частотно-регулируемого электропривода подъема мостового крана с суперконденсаторами и его сравнение с традиционным частотным электроприводом. Для оценки энергопотребления используются математические модели в приложении *Simulink* пакета *MATLAB*.

## 2. Математическая модель

В качестве примера в статье рассматривается электропривод подъема мостового крана КМПТ22, который работает на ООО «ВИЗ-СТАЛЬ». Для привода механизма подъема используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии 4МТКТ мощностью 60 кВт, который питается от преобразователя частоты *Siemens Sinamics S120* с неуправляемым выпрямителем на входе и автономным инвертором напряжения с номинальным выходным током 200 А.

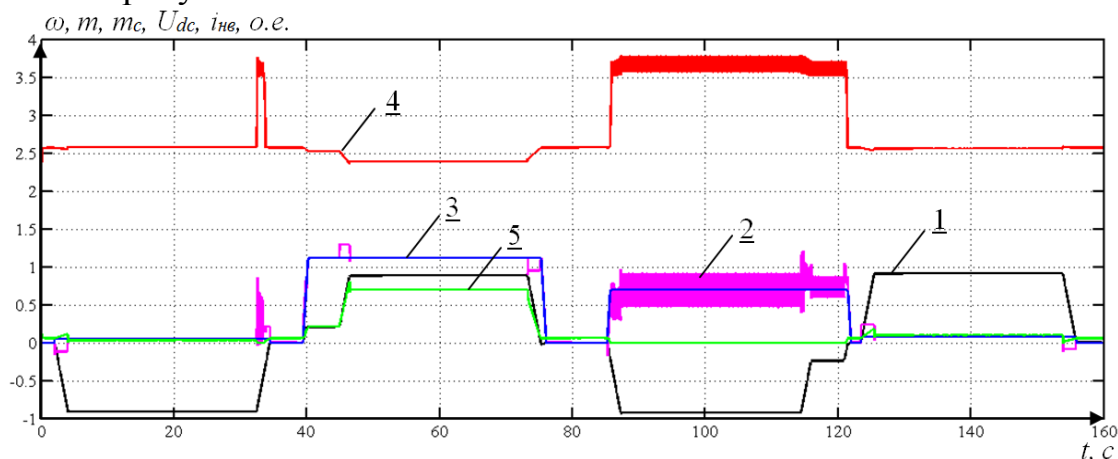
Режим работы электропривода состоит из четырех рабочих участков и пауз между ними. Цикл работы начинается со спуска пустого крюка, затем, после загрузки, следует подъем груза номинальной массы (20 т). Далее выдерживается пауза, во время которой кран перемещается по цеху, и осуществляется опускание груза. Цикл завершается паузой на разгрузку, подъемом пустого крюка и возвращением крана в исходную точку.

Необходимая емкость блока суперконденсаторов рассчитывается, исходя из максимального за цикл количества энергии, которое может быть отдано двигателем в звено постоянного тока при работе в тормозном режиме. В рассматриваемом режиме работы – это участок опускания груза. Значение необходимой емкости составило 6,3 Ф. Фактическая емкость – 6,5 Ф – была получена параллельным соединением 13 конденсаторов ИКЭ 160/800 емкостью 0,5 Ф и номинальным напряжением 800 В каждый.

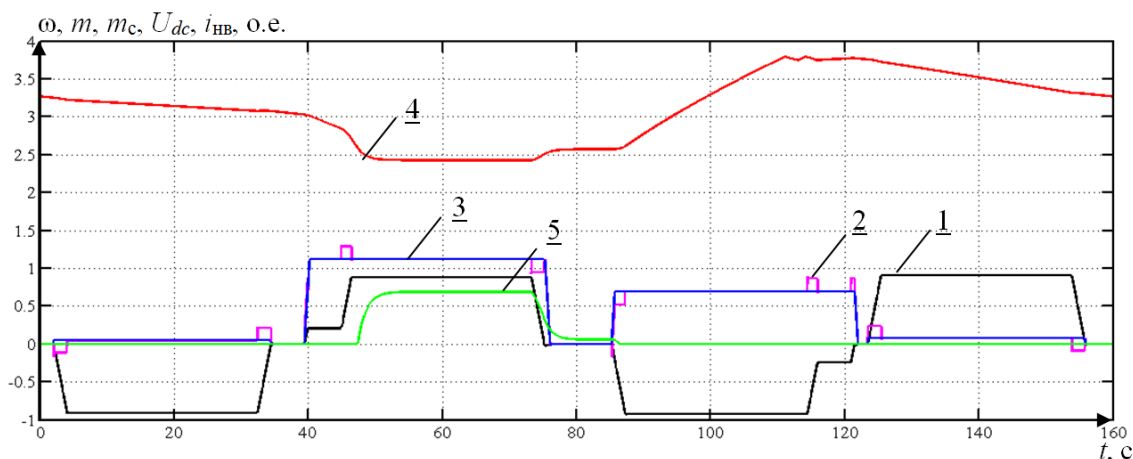
Математические модели, использованные для измерения энергопотребления, подробно описаны в [4, 5]. Для оценки энергопотребления электропривода в модели предусмотрен специальный блок, который позволяет определить количество потребленной активной энергии. Энергопотребление электроприводов оценивается за 10 циклов работы.

## 3. Результаты моделирования

Переходные процессы, отражающие режим работы мостового крана, представлены на рисунке.



а) электропривод с тормозным сопротивлением (8 Ом, 12,5 кВт)



б) электропривод с суперконденсатором (общей емкостью 6,5 Ф)

Переходные процессы в электроприводе мостового крана:

1 – угловая скорость двигателя  $\omega$ , о.е.; 2 – момент на валу двигателя  $m$ , о.е.; 3 – момент активной нагрузки  $m_c$ , о.е.; 4 – напряжение в звене постоянного тока преобразователя частоты  $U_{dc}$ , о.е.; 5 – ток на выходе неуправляемого выпрямителя  $i_{нв}$ , о.е.

На четвертом участке цикла в электроприводе с суперконденсаторами ток  $i_{нв}$  (кривая 5) равен нулю. Это означает, что используется энергия, запасенная в суперконденсаторах, а не потребленная из сети. Этой энергии хватает и на часть следующего цикла – участок спуска крюка и разгон при подъеме груза (рис. б). Данные энергопотребления за 10 циклов сведены в таблице.

Энергопотребление электроприводов

| Потребление энергии                  | Потребление электроэнергии |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                      | ЭП с супер-конденсатором   | ЭП с обычным конденсатором |
| Активная энергия, кВт·ч              | 5,206                      | 7,246                      |
| Экономия активной энергии, кВт·ч     | 2,04                       |                            |
| Экономия активной электроэнергии, %. | 28,15                      |                            |

#### 4. Выводы

Результаты моделирования с расчетом энергопотребления свидетельствуют о том, что использование суперконденсаторов позволит добиться существенной экономии электроэнергии.

Существует несколько путей снижения срока окупаемости:

- снижение стоимости суперконденсаторов с началом их массового производства;
- создание на кране группового электропривода, в котором блок суперконденсаторов подключается в общее звено постоянного тока;
- снижение количества конденсаторов за счет более эффективного их использования по напряжению.

Однако, расчет экономической эффективности по методу чистого дисконтированного дохода показал, что срок окупаемости блока суперконденсаторов за счет экономии энергии (табл. 1) составляет более 15 лет, что вызвано чрез-

вычайно высокой его стоимостью, которая ориентировочно составляет 1736000 руб.

#### *Библиографический список*

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.
2. A. Napoli, A. Ndokaj. Auxiliary Power Buffer Based on Ultracapacitors // SPEEDAM. Italy, Sorrento, 2012.
3. Lisheng Shi, M. L. Crow. Comparison of Ultracapacitor Electric Circuit Model // IEEE. University of Missouri, 2008.
4. Поляков В.Н., Шрейнер Р.Т. Энергоэффективные режимы регулируемых электроприводов переменного тока / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер; под ред. Р.Т. Шрейнера. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 2012.
5. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Плотников Ю.В., Поляков В.Н., Костылев А.В., Эрман Г.З. Использование емкостных накопителей энергии в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе // Электротехника. 2012. № 9. С. 30-34.

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕВОДА КОТЕЛЬНЫХ С УГЛЯ НА ТОРФЯНОЙ БРИКЕТ**

*Пономарев К.В., Милютин Р.В., Панасюк А.И., Белякова А.П., Сорокин Р.Н.  
Уральский государственный горный университет  
alexgorbunov72@mail.ru*

На основании данных, полученных специалистами компании ООО «НЕСЕН Инжиниринг», произведен расчет основных параметров, указывающих на эффективность сжигания того или иного вида топлива (испытания проводились на отопительной котельной МУП «Шогринская ЖКХ», расположенной по адресу: Свердловская область, с. Шогринское, ул. Советская), были сделаны следующие выводы:

1. Средняя температура воды после котла при сжигании каменного угля (81,3 °С) ниже средней температуры воды при сжигании торфяного брикета (84,0 °С) на 3,5 %.

2. Средняя температура воды до котла при сжигании каменного угля выше средней температуры воды при сжигании торфяного брикета на 2,5 %.

Испытания при сжигании каменного угля проводились 16.01.2012 г., средняя температура наружного воздуха составила минус 21,9 °С. Испытания при сжигании торфяного брикета проводились 17.01.2012 г., средняя температура наружного воздуха составила минус 21,7 °С.

3. Разность температур между прямым и обратным трубопроводом котла при сжигании торфяного брикета выше на 12,3 °С.

4. Масса каменного угля, загруженного в топку котла, превышает на 4 % массу торфяного брикета. Испытания при сжигании каменного угля и торфяного брикета проводились по 9 часов.

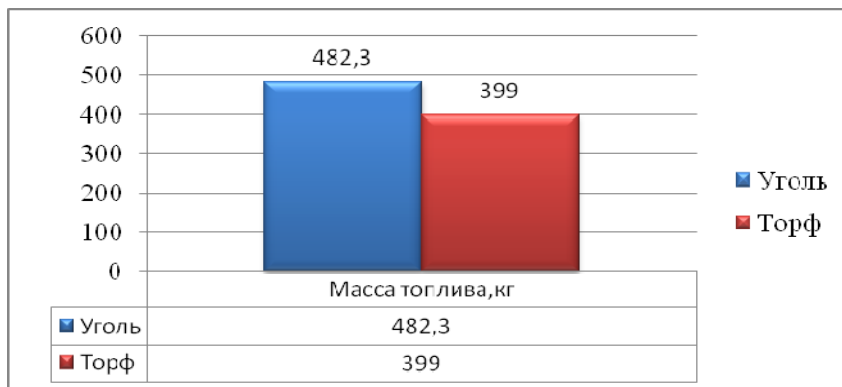
5. При сжигании 1506,6 кг каменного угля образовалось 282 кг золы и шлака, что соответствует 18,7 % от общей массы каменного угля, загруженного в топку котла.



При сжигании 1447,9 кг торфяного брикета образовалось 86,9 кг золы и шлака, что соответствует 6 % от общей массы торфяного брикета, загруженного в топку котла.

6. Расход каменного угля на 1 Гкал выработанной теплоты составляет 482,3 кг, что на 17,3 % больше расхода торфяного брикета на 1 Гкал теплоты (рис. 1).

Рис. 1. Расход топлива для выработки 1 Гкал теплоты



7. Средняя часовая мощность котла при сжигании каменного угля составляет 403,6 кВт, что на 14 % меньше

средней часовой мощности котла при сжигании торфяного брикета.

8. Коэффициент полезного действия при сжигании каменного угля на котле с П-образным расположением экранных труб составляет 35,33 %; при сжигании торфяного брикета – 61,08 %. Расчет коэффициента полезного действия методом обратного баланса зависит от тепловых потерь. Наибольшими тепловыми потерями являются потери с уходящими газами, которые зависят от температуры уходящих газов и от коэффициента избытка воздуха. Значения коэффициента избытка воздуха при сжигании каменного угля меньше на 26 % значения коэффициента избытка воздуха для торфяного брикета.

9. Средняя температура уходящих дымовых газов при сжигании торфяного брикета превосходит среднюю температуру уходящих дымовых газов при сжигании каменного угля на 5 %.

10. Стоимость 1 Гкал выработанного тепла при сжигании каменного угля составляет 1403,55 руб., что на 13,3 % выше стоимости 1 Гкал выработанного тепла при сжигании торфяного брикета (по топливной составляющей, рис. 2).

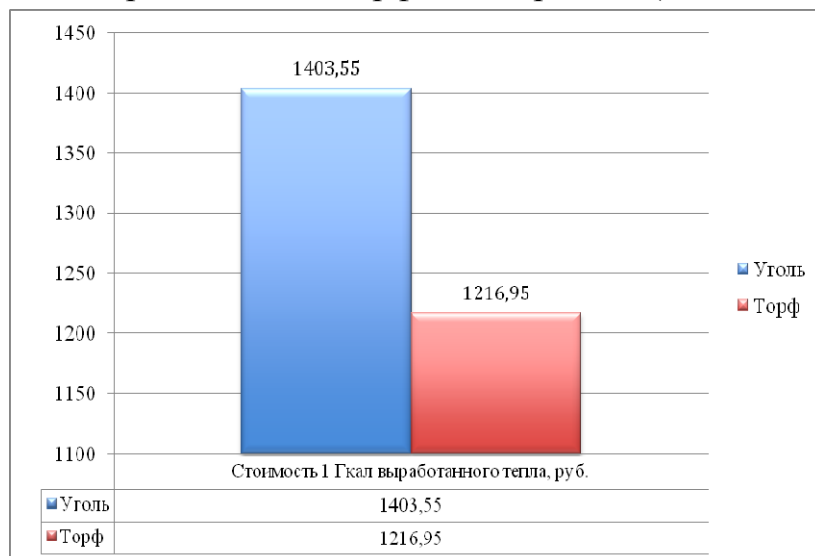


Рис. 2. Стоимость 1 Гкал выработанного тепла

Стоимость 1 тонны каменного угля – 2910 руб., 1 тонны брикетного торфа – 3050 руб.

11. Удельный расход каменного угля выше удельного расхода торфяного брикета на 21 %



Таким образом, проведенные испытания показали, что сжигание торфяного брикета на котле с П-образным расположением экранных труб эффективнее с точки зрения выработанного и отданного потребителю количества теплоты и экономичнее с точки зрения расхода топлива и стоимости 1 Гкал выработанной тепловой энергии.

## **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ТРУБОПРОВОДАХ**

*Ронкин М.В. Калмыков А.А.  
УрФУ, mvronkin@gmail.com*

В современном мире в связи с постоянным ростом цен на энергоносители, сырьевые ресурсы и с целью рационализации их использования промышленные предприятия уделяют пристальное внимание учету производимых и потребляемых энергоресурсов, а также учету выбросов в атмосферу. Наиболее важным показателем, характеризующим измерения расхода при коммерческом учете сырьевых потоков, является точность контрольно-измерительных устройств [1].

Требованиям точности измерений расхода и объема газа удовлетворяет целый ряд применяемых в промышленности методов измерений. К ним относятся методы переменного перепада давления, вихревой, ультразвуковой, ротационный, турбинный, термально-массовый расходомеры. Существенными факторами, влияющими на суммарную точность измерения расхода, являются физические свойства измеряемой среды и конфигурация измерительных трубопроводов [1].

Часто водоканалы, ТЭЦ и другие крупные поставщики и потребители энергоресурсов сталкиваются с проблемами при необходимости организации учета в трубопроводах больших диаметров. До недавнего времени на таких трубах наиболее широкое распространение имели узлы учета на сужающих устройствах. Однако, в силу различных недостатков: необходимости регулярного технического обслуживания, неудобства проведения периодической поверки, узкого динамического диапазона и, наконец, потерь давления, возникает потребность в более современных расходомерах [2].

При использовании на трубопроводах средних и больших диаметров (от 300 мм) ультразвуковые расходомеры оказываются значительно дешевле механических и электромагнитных расходомеров, а иногда и расходомеров на сужающих устройствах (если установка такого узла дорогая). В связи с этим УЗ расходомеры нашли широкое распространение на крупных промышленных объектах, предприятиях водоснабжения и водоотведения, предприятиях теплоэнергетики. [2]. Также важной особенностью является то, что на основе УЗ методов реализуются бесконтактные расходомеры. В них первичные преобразователи устройства устанавливаются на внешнюю сторону трубопровода, не требуя врезания его стенку, либо контакта с измеряемой средой (причем труба мо-

жет быть из любого материал), что значительно упрощает ремонтпригодность расходомера и делает его переносным.

Принцип работы ультразвукового (УЗ) расходомера основан на вычислении разности времен прохождения акустической волны в контролируемой среде по потоку и против него, такая величина является пропорциональной скорости течения среды. Зная площадь трубопровода и коэффициент, характеризующий профиль потока, вычисляют расход. Кроме вычисления непосредственно времени прохождения УЗ волны имеются способы на основе вычисления фазы принятого сигнала и частоты импульсов. Методы на основе определения фазы сигнала при помощи аналоговой техники были широко распространены в 60-70-х годах XX века, однако, оказались забытыми позже, с развитием цифровой техники. В настоящее время основным методом определения времени прихода УЗ сигнала является «пороговый» метод, имеющий большую постоянную составляющую погрешности (до 3 %) и требующий тщательной градуировки показаний от внешних условий [3]. Такой способ имеет высокую погрешность при малом отношении сигнал/шум, что наблюдается, например, в случае бесконтактных методов, при прохождении волны через стенку трубопровода, когда происходит ее значительное ослабление.

Тем не менее, возможности современной элементной базы электроники позволяют предложить сравнительно дешевое решение, позволяющее по-новому взглянуть на проблему определения расхода при помощи ультразвука. Отличительной особенностью разрабатываемого авторами статьи УЗ расходомера является использование созданного цифрового алгоритма обработки сигналов в фазовой области. Алгоритм основан на вычислении разности фаз между опорным (подаваемым на излучатель) и принимаемым сигналами. Причем разность фаз вычисляется во всем объеме полезного сигнала, где его величина значительно преобладает над уровнем шума (выбирается окно). Соответствующие пояснения приведены на рис. 1 [4].

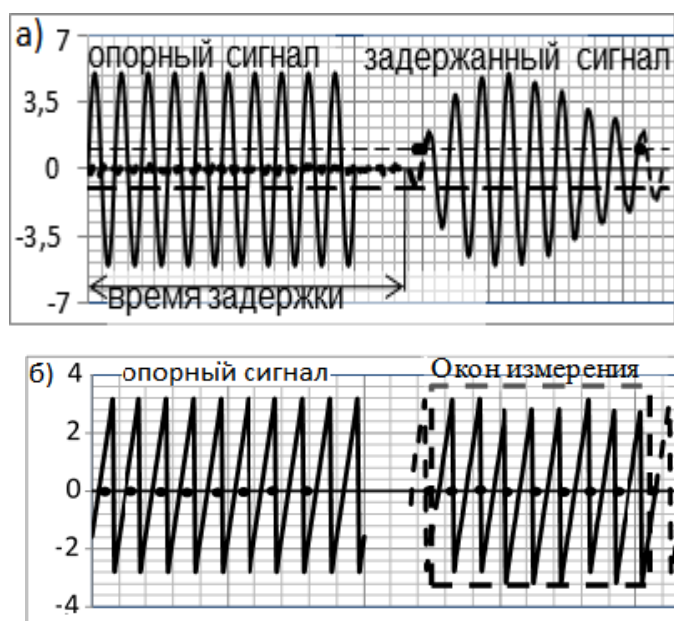


Рис. 1. Принцип работы предлагаемого алгоритма: опорный и принятый УЗ сигналы (а), фазы соответствующих сигналов и окно измерения (б) [4]

При таком подходе время задержки может быть вычислено как разность фаз в соответствующих друг другу точках опорного и задержанного сигнала, с учетом задержки, кратной периоду сигнал.

По рассчитанным данным определяется скорость потока и расход.

Так как реальный сигнал всегда принимается зашумленным, причем преимущественно на фоне белого шума, авторами было проведено численное моделирование разрабатываемой системы в зависимости от соотношения сигнал/шум. Результаты такого сравнения с иными методами обработки сигнала, используем в существующих устройствах, представлены на графике (рис. 2) [5].

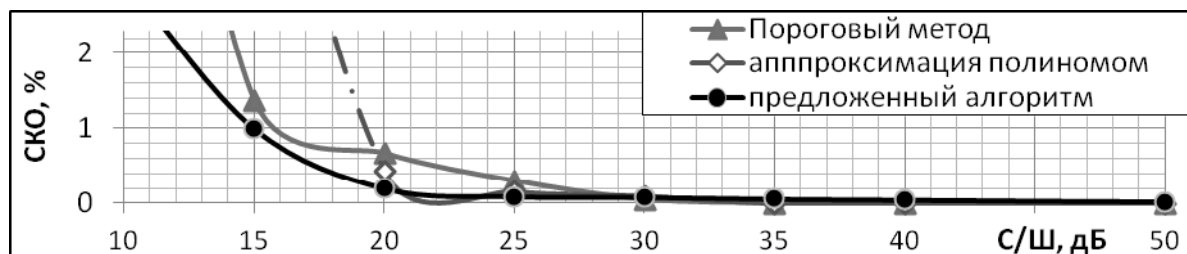


Рис. 2. Сравнение точности методов обработки ультразвуковых времяпролетных сигналов при традиционно используемых методах компаратора метода, аппроксимации полиномом и предложенного подхода [5]

Из рис. 2 видно преимущество предложенного подхода, заключающегося в сохранении высокой точности измерений в случаях более зашумленного сигнала, что определяет пригодность метода для реализации времяпролетного бесконтактного расходомера, где в силу наличия стенок трубопровода на пути акустической волны сигнал всегда принимается при ослабленном отношении сигнал/шум. Кроме того, при использовании современной элементной базы измерений техническими преимуществами прилагаемого подхода являются возможность измерения на трубах диаметром от 8 мм, излучение под углами, близкими к нормали, что сокращает погрешности, вызванные углом ввода УЗ волны в среду.

Таким образом, в работе представлен алгоритм измерений расхода, который будет использован в разрабатываемом переносном бесконтактном измерителе расхода. Показаны точностные преимущества подхода, в сравнении со способами обработки сигнала, используемыми в производимых на сегодняшний день расходомерах. Метод позволяет работать без потери точности при не высоком отношении сигнал/шум, что является актуальным при реализации измерений без контакта с контролируемой средой, т. е. через стенку трубопровода.

#### *Библиографический список*

1. Фафурин В.А., Яценко И.А., Ганиев Р.И., Николаев Н.А. Современное состояние метрологического обеспечения измерений расхода и объема энергетических и сырьевых ресурсов. г. Казань: НИО-5 ФГУП ВНИИР [Электронный ресурс] URL: [http://www.teplotpunkt.ru/articles/0138\\_fva\\_rpp.html](http://www.teplotpunkt.ru/articles/0138_fva_rpp.html)
2. Азбель В.Я. Ультразвуковые расходомеры – универсальные измерители расхода различных жидких сред. ЗАО "ВЗЛЕТ". [Электронный ресурс] URL: <http://www.gidronics-review.ru/vzlet/1.html>
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества. Кн. 2. СПб.: Политехника, 2004. 412 с.
4. Калмыков А.А., Ронкин М.В. Исследование аппроксимационных методов повышения точности локационных фазовых измерительных систем // 23rd Int. Crimean Conference "Mi-

- crowave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013): Материалы конференции. Т. 2. Севастополь: Вебер, 2013. С. 1200-1201.
5. Калмыков А.А., Ронкин М.В. Сравнение цифровых методов определения времени прихода локационных сигналов // Радиовысотометрия-2013: Сборник трудов. Каменск-Уральский: ОАО «УПКБ «ДЕТАЛЬ», 2013. С. 413-418.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ОТОПЛЕНИЕМ

*Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет  
al.rtisheva@mail.ru*

Автоматическое управление, реализованное в зданиях, ограничивает потребление тепловой энергии на отопление таким ее количеством, которое необходимо для поддержания заданного значения температуры в помещениях. Новизну в задачах управления микроклиматом на сегодняшний день составляет применение методов теории оптимального управления, с помощью которых возможен учет влияния случайных факторов (температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, дополнительных теплопоступления, связанных с наличием осветительных приборов, компьютерной техники, промышленного или бытового оборудования, а также человека).

Под объектом управления будем понимать тепловую зону (помещение, группу помещений или здание в целом).

В основе модели объекта управления лежит уравнение теплового баланса:

$$c_p \rho V \frac{dt_{\text{вн}}}{dt} = Q_{\text{отопл}} + \sum_{i=1}^N Q_i, \quad (1)$$

где  $t_{\text{вн}}$  – температура внутреннего воздуха;  $V$  – объем помещения;  $c_p$  – массовая изобарная теплоемкость воздуха;  $\rho$  – плотность воздуха;  $Q_{\text{отопл}}$  – тепловая мощность системы отопления;  $\sum_{i=1}^N Q_i$  – суммарные тепловые потери и теплопоступления [2, 3].

В уравнении (1) регулируемым параметром является температура внутреннего воздуха. При этом регулирующим параметром может выступать тепловой поток от приборов отопления, а также температура поверхности отопительного прибора или температура теплоносителя в отопительном приборе. Так как наиболее распространенной в нашей стране является система водяного отопления, то в качестве регулируемого параметра рассмотрим температуру теплоносителя в отопительном приборе (радиаторе),  $t_{\text{тепл}}$ .

Рассмотрим упрощенный случай, когда тепловые потери ограничиваются только тепловыми потоками теплопередачи через ограждающие конструкции, а внешние возмущения – колебаниями температуры наружного воздуха и случайным характером дополнительных теплопоступлений от человека. При этом уравнение (1) примет вид

$$c_p \rho V \frac{dt_{\text{вн}}}{dt} = K_p F_p (t_{\text{тепл}} - t_{\text{вн}}) - K_{\text{огр}} F_{\text{огр}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) + Q_{\text{чел}} N, \quad (2)$$

где  $t_n$  – температура наружного воздуха;  $K_p$  – коэффициент теплопередачи отопительного прибора;  $F_p$  – площадь поверхности отопительного прибора;  $K_{огр}$  – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций;  $F_{огр}$  – площадь ограждающих конструкций;  $Q_{чел}$  – нормативное значение теплового потока от 1 человека, занятого определенным видом деятельности;  $N$  – количество людей в тепловой зоне.

Таким образом,

$$\frac{dt_{вн}}{d\tau} = -at_{вн} + bt_{тепл} + \xi, \quad (3)$$

$$\text{где } a = -\left(\frac{K_p F_p + K_{огр} F_{огр}}{c_p \rho V}\right); \quad b = \frac{K_p F_p}{c_p \rho V}.$$

В общем случае выражение (3) можно представить в векторной форме:

$$\frac{d\mathbf{T}_{вн}}{d\tau} = -\mathbf{A}\mathbf{T}_{вн} + \mathbf{B}t_{тепл} + \xi. \quad (4)$$

Если задать некоторую температуру внутреннего воздуха, которую необходимо поддерживать в тепловой зоне  $t_{вн.зад}$ , то основной задачей оптимального управления будет являться нахождение коэффициента усиления регулятора  $K$ . При этом функция оптимального управления будет иметь вид

$$t_{тепл}^* = K(t_{вн} - t_{вн.зад}). \quad (5)$$

Меру ошибки можно задать в виде

$$H = (\mathbf{T}_{вн} - \mathbf{T}_{вн.зад})^T \mathbf{Q}_1 (\mathbf{T}_{вн} - \mathbf{T}_{вн.зад}) + q_2 t_{тепл}^2. \quad (6)$$

где  $\mathbf{T}_{вн.зад}$  – вектор заданных температур;  $\mathbf{Q}_1$  – весовая матрица.

Из уравнения Беллмана и Гамильтона-Якоби следует выражение для оптимального управления:

$$t_{тепл}^* = -q_2^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}(\tau) (\mathbf{T}_{вн} - \mathbf{T}_{вн.зад}), \quad (7)$$

где  $\mathbf{K}(\tau) = -q_2^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}(\tau)$  – матричный коэффициент усиления.

Выражение для матрицы  $\mathbf{P}(\tau)$  можно найти из уравнения Риккати [1, 2].

На основе полученных моделей было проведено исследование влияния случайных воздействий на температуру внутреннего воздуха. В качестве примера был рассмотрен идеальный объект (без учета инерционных свойств) – помещение, объемом  $67,5 \text{ м}^3$ , которое имеет только внешние ограждающие конструкции, выполненные из бетона с плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  и коэффициентом теплопроводности  $0,33 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ . Расчеты показали, что колебания температуры наружного воздуха в пределах  $\pm 0,8 \text{ }^\circ\text{C}$  (от некоторого среднего значения) вызовут отклонение температуры внутреннего воздуха от заданной в пределах  $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Дополнительные случайные воздействия в виде периодического пребывания в помещении человека вызывает увеличение указанного промежутка варьирования температуры внутреннего воздуха до  $\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (рисунок).

Следует отметить, что для реальных инерционных объектов колебания температуры внутреннего воздуха за рассматриваемый промежуток времени менее значительны.

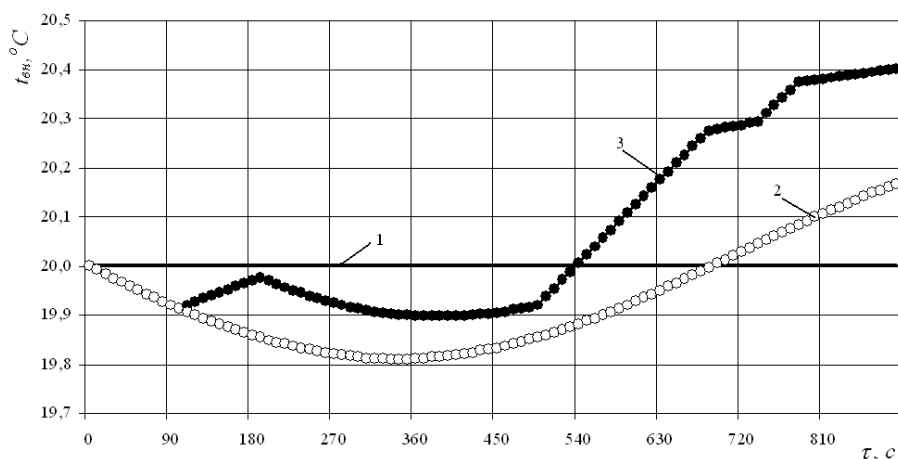


График изменения температуры внутреннего воздуха в помещении:  
 заданное значение температуры – 1; при наличии колебаний температуры наружного воздуха – 2; при наличии колебаний температуры наружного воздуха и дополнительных тепловых поступлений от человека, присутствие которого имеет случайный характер – 3

Представленные модели и алгоритмы определяют процедуру оптимального управления температурой теплоносителя для поддержания заданного значения температуры внутреннего воздуха в тепловой зоне. Они синтезируют методы динамического программирования теории оптимального управления и методы расчета отопительных систем.

#### *Библиографический список*

1. Оптимизация и оптимальное управление: учеб. пособие / Э.К. Аракелян, Г.А. Пикина; под ред. Т.Е. Щедеркиной. М.: МЭИ, 2003. 356 с.
2. Оптимальное управление системами / Э.П. Сейдж, Ч.С. Уайт, III; под ред. Б. Р. Левина. – М.: Радио и связь, 1982. 392 с.
3. Ртищева А.С. Моделирование теплового режима и оптимизация теплopotребления здания высшего учебного заведения / А.С. Ртищева // Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении : материалы 5-й науч.-техн. конф. Казань, 2006. С. 247-250.

## **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНОМ В ЗДАНИИ**

*Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет*

*al.rtisheva@mail.ru*

Важными параметрами комфортного микроклимата в здании, которые можно регулировать, являются: относительная влажность воздуха и концентрация вредных веществ в воздухе. Автоматическое управление воздухообменом в общественных, административных или промышленных зданиях ограничивает потребление как электрической, так и тепловой энергии на создание комфортных параметров микроклимата в помещениях таким ее количеством, которое необходимо для поддержания некоторых заданных значений или заданного графика их изменения во времени (реализация суточного или недельного регулирования). Новизну в задачах управления воздухообменом на сегодняшний

день составляет применение методов теории оптимального управления, в частности принципа максимума Понтрягина.

Для относительной влажности воздуха в помещении также можно записать балансовое уравнение в виде

$$\rho V \frac{d\omega}{d\tau} = \rho V'_{\text{инф}} (\omega_n - \omega) + \rho V'_{\text{вент(конд)}} (\omega_{\text{зад}} - \omega_n) + W_{\text{ист}} + \rho \sum_{j=1}^T V'_j (\omega_j - \omega), \quad (1)$$

где  $V$  – объем помещения;  $\rho$  – плотность воздуха;  $V'_{\text{инф}}$  – объемный расход воздуха с инфильтрацией;  $V'_{\text{вент(конд)}}$  – объемный расход воздуха, обеспеченный системой вентиляции (кондиционирования);  $V'_j$  – массовый расход воздуха при воздухообмене с соседним помещением;  $\omega$  – относительная влажность воздуха в рассматриваемом помещении;  $\omega_i$  – относительная влажность наружного воздуха;  $\omega_{\text{зад}}$  – заданное значение относительной влажности воздуха, поставляемого системой вентиляции (кондиционирования);  $\omega_j$  – относительная влажность воздуха соседнего помещения;  $W_{\text{ист}}$  – внутренние влагопоступления.

Таким образом, уравнение управления относительной влажностью воздуха в помещении будет иметь вид

$$\frac{d\omega}{d\tau} = -a\omega + b_1 V'_{\text{вент(конд)}} + \xi_1. \quad (2)$$

где  $a = \frac{V'_{\text{инф}} - V'_j}{V}$ ;  $b_1 = \frac{\omega_{\text{зад}} - \omega_n}{V}$ ;  $\xi_1$  – внешние возмущения, влияющие на относительную влажность внутреннего воздуха.

В общем случае выражение (2) можно представить в векторной форме:

$$\frac{d\mathbf{W}}{d\tau} = -\mathbf{A}\mathbf{W} + \mathbf{B}_1 V'_{\text{вент(конд)}} + \xi_1. \quad (3)$$

Для нахождения функции оптимального управления  $V'^*_{\text{вент(конд)}}$  воспользуемся принципом максимума (минимума) Понтрягина, при этом будем считать, что на объемный расход воздуха системы вентиляции (кондиционирования) наложено ограничение, которое характеризуется предельной мощностью вентиляторов:  $V'_{\text{вент(конд)}} \leq V'_{\text{max}}$  [1, 2].

Критерием качества целесообразно выбрать потребление электрической энергии на работу вентиляторов, которую следует привести к минимуму.

Запишем функцию Гамильтона в виде

$$\Gamma = H + \lambda(\tau) \left( -a\omega + b_1 V'_{\text{вент(конд)}} + \xi_1 \right), \quad (4)$$

где  $H$  – мера ошибки;  $\lambda(\tau)$  – множитель Лагранжа.

Таким образом, оптимальное управление будет иметь вид

$$V'^*_{\text{вент(конд)}} = \begin{cases} V_{\text{max}}, & \lambda < -\frac{1}{b_1} \\ 0, & -\frac{1}{b_1} < \lambda < 0 \end{cases}. \quad (5)$$

Следует отметить, что полученный результат должен быть согласован с результатами моделирования оптимального управления концентрацией вредных веществ во внутреннем воздухе.

Для концентрации вредностей (к примеру, углекислого газа) в воздухе помещения также можно записать балансовое уравнение в виде

$$V \frac{dn}{d\tau} = V'_{\text{инф}} (n_n - n) + V'_{\text{вент(конд)}} (n_{\text{доп}} - n_n) + M_{\text{ист}} + \sum_{j=1}^T V'_j (n_j - n), \quad (6)$$

где  $n$  – концентрация вредностей в воздухе рассматриваемого помещения;  $n_i$  – концентрация вредностей в наружном воздухе;  $n_{\text{доп}}$  – допустимая (заданная) концентрация вредностей в воздухе помещения;  $n_j$  – концентрация вредностей в воздухе соседнего помещения;  $M_{\text{ист}}$  – внутренние поступления вредностей.

Таким образом, уравнение управления концентрацией вредных веществ в воздухе помещения будет иметь вид

$$\frac{dn}{d\tau} = -an + b_2 V'_{\text{вент(конд)}} + \xi_2, \quad (7)$$

где  $b_2 = \frac{n_{\text{доп}} - n_n}{V}$ ;  $\xi_2$  – внешние возмущения, влияющие на концентрацию вредных веществ во внутреннем воздухе.

В общем случае выражение (8) можно представить в векторной форме:

$$\frac{dN}{d\tau} = -AN + B_2 V'_{\text{вент(конд)}} + \xi_2. \quad (8)$$

Функцию оптимального управления  $V'^*_{\text{вент(конд)}}$  находим аналогично предыдущему пункту. При этом

$$V'^*_{\text{вент(конд)}} = \begin{cases} V'_{\text{max}}, & \lambda < -\frac{1}{b_2} \\ 0, & -\frac{1}{b_2} < \lambda < 0 \end{cases}. \quad (9)$$

При одновременном регулировании концентрации вредных веществ в воздухе и относительной влажности требуется выполнение следующий условий: при  $b_2 > b_3$  будет выполняться только (5), при  $b_2 < b_3$  будет выполняться только (9).

Представленные модели и алгоритмы определяют процедуру оптимального управления воздухообменом в здании. Они синтезируют принципы и методы, разработанные Л.С. Понтрягиным, и методы расчета воздухообмена в зданиях. Их преимуществом является возможность учета случайных факторов, влияющих на микроклимат. Полученные результаты могут быть использованы в качестве научно-методической базы проектирования систем оптимального управления микроклиматом.

#### *Библиографический список*

1. Оптимизация и оптимальное управление: учеб. пособие / Э.К. Аракелян, Г.А. Пикина; под ред. Т.Е. Щедеркиной. М.: МЭИ, 2003. 356 с.
2. Оптимальное управление системами / Э.П. Сейдж, Ч.С. Уайт, III; под ред. Б.Р. Левина. М.: Радио и связь, 1982. 392 с.



## СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА

Салова Е.С., Бирюзова Е.А.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
salovae@inbox.ru, biryuzova@rambler.ru

При сжигании мазута на котельных и ТЭЦ приходится сталкиваться с рядом негативных факторов, которые влияют на надежность работы энергетического оборудования, приводят к неоправданным затратам топлива и загрязнению атмосферы, а именно:

- потери топлива с отходами в количестве до 10 % при традиционных методах подготовки топлива (отстой и сепарация), что к тому же увеличивает количество отходов, подлежащих утилизации, и повышает опасность загрязнения окружающей среды;

- ухудшение качества топлива, повышение вязкости и температуры вспышки мазута вследствие интенсификации переработки нефти (с целью получения большего количества светлых продуктов);

- старение мазута в процессе длительного хранения. Из мазута испаряются легкие фракции, что приводит к повышению его вязкости и температуры вспышки. Как правило, после 2–3 лет хранения сжигание такого мазута становится весьма проблематичным, и его приходится заменять более свежим, со всеми неизбежными затратами.

- загрязнение окружающей среды продуктами сгорания мазута (оксиды азота, серы, сажа, бенз(а)пирен) и сбросными водами, содержащими нефтепродукты;

- отложение сажи, копоти и кокса из-за неполного сгорания топлива, что вынуждает регулярно останавливать котлы для профилактических работ.

При закупках топлива по наиболее низкой цене игнорируются требования по его фракционному составу и теплофизическим характеристикам. При этом потребитель получает в лучшем случае тяжелые мазуты, либо отходы нефтепереработки, разжиженные газойлевыми фракциями, а зачастую – продукты зачистки нефтешламовых амбаров с обводненностью более 20 %, с большим количеством механических примесей и органики, разбавленные кубовыми остатками нефтехимических производств. При эксплуатации топливных хозяйств на таком суррогате происходит расслоение топлива, при котором в верхнем слое концентрируются легкие углеводороды с недопустимо низкой температурой вспышки, а в нижних слоях практически негорючий органический осадок. Сжигание легких углеводородов сопряжено с высокой вероятностью возникновения пожаров и выхода оборудования из строя, а попадание на горелочные устройства нижних слоев расслоенного топлива приводит к засорению форсунок и погасанию факела, причем повторный розжиг котлов на таком «топливе» весьма проблематичен. Кроме того, сжигание в котлах и печах влечет за собой неконтролируемый выброс особо опасных вредных веществ, отравление персонала, наносит ущерб окружающей среде.

В настоящее время задачи энергосбережения и экологической безопасности при работе теплогенерирующих установок особенно актуальны и имеют огромное значение. Одним из способов решения этих вопросов является применение водно-топливных эмульсий (ВТЭ):

- вода–мазут;
- вода–дизельное топливо;
- вода–бензин.

При сжигании ВТЭ КПД котельной установки повышается на 3–5 %, а также снижается эмиссия загрязняющих веществ ( $\text{CO}$ , сажи, окислов азота, бензапирена и других канцерогенных полициклических ароматических углеводородов) в атмосферу [1].

Использование гомогенизированной водно-мазутной смеси позволяет увеличить коэффициент сжигания топлива, сэкономить мазут и снизить вредные выбросы  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_x$  в атмосферу при их сжигании.

В высокотемпературной зоне топочной камеры капля эмульсии взрывается, увеличивая дисперсность подаваемого в горелку топлива. В результате увеличивается поверхность контакта топлива с воздухом, улучшается качество топливно-воздушной смеси.

В результате таких микровзрывов в топке возникают очаги турбулентных пульсаций, и увеличивается число элементарных капель топлива, благодаря чему факел увеличивается в объеме и более равномерно заполняет топочную камеру, вследствие чего происходит:

- выравнивание температурного поля топки с уменьшением локальных максимальных температур и увеличением средней температуры в топке;
- повышение светимости факела за счет увеличения поверхности излучения;
- снижение химического недожога топлива;
- снижение количества вдуваемого воздуха и уменьшение связанных с ним теплопотерь.

Одновременно в факеле происходят каталитические реакции, ведущие к уменьшению вредных газовых выбросов.

#### *Библиографический список*

1. Волков А.Н. Сжигание газов и жидкого топлива в котлах малой мощности. Л.: Недра, 1989. 160 с.

## **ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТОКОВ СТАТОРА И ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

*Сафин Н.Р., Дмитриевский В.А., Прахт В.А., Дмитриевский А.А., Казакбаев В.М.  
УрФУ, emf2010@mail.ru*

Энергосбережение является одним из основных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Электродвигатели потребляют до 70% вырабатываемой электроэнергии [1]. На сегодняшний день асинхронный двига-

тель (АД) с короткозамкнутым ротором является основой большинства промышленных электроприводов. Однако их эффективному применению препятствует относительно высокая повреждаемость – около 25 % от общего числа установленных электродвигателей ежегодно [2].

При эксплуатации некоторая часть АД работают с неисправностями, которые не сразу развиваются и их сложно выявить. Одним из таких неисправностей является эксцентриситет ротора, при котором в АД под действием радиальной силы ось ротора смещается со своей первоначальной позиции, вызывая пульсацию электромагнитной силы, в основном в радиальном направлении, при этом происходит изменение воздушного зазора между статором и ротором [8]. При эксцентриситете ротора, ухудшаются технико-экономические характеристики. В частности, при эксцентриситете ротора возрастает ток питания, что влечет к косвенным непродуктивным затратам электроэнергии (до 5-7 %), при этом стоимость перерасхода электроэнергии за год может превысить стоимость самого двигателя [3,9].

Приведем следующие статистические данные по неисправностям электродвигателей переменного тока [2,3]: повреждения элементов статора – 38%; повреждения роторов – 10%; повреждения подшипников – 40%; другие повреждения – 12%.

Существуют следующие методы диагностики эксцентриситета ротора: механический способ, посредством измерительного щупа; вибрационный способ посредством вибродатчиков; емкостной способ и метод, основанный на спектральном анализе потребляемых токов статора. Наиболее широко распространёнными из них являются методы, основанные на вибродиагностике и спектральном анализе потребляемых токов статора [9]. Метод, основанный на спектральном анализе токов статора, имеет следующие преимущества: относительно высокая точность результатов и возможность удаленного мониторинга, т.е. посредством доступа к электрощиту питания [3].

Для диагностирования повреждения – эксцентриситета ротора на основе спектрального анализа токов статора, в качестве испытуемой машины был использован АД АИР 71 А2У2 IM1081 (номинальная мощность 0,75 кВт; номинальная скорость 2820 об/мин). Испытания проводились в двух условиях: заводским подшипником марки 6204 и с подмененным подшипником марки 6005 с втулкой (см. рис. 2). Данный способ искусственного получения эксцентриситета ротора используется в некоторых зарубежных работах [6,7]. Испытания проводились на экспериментальном стенде, где нагрузочный момент создавался электромагнитным порошковым тормозом «Merobel FAT 350» 35 Н·м, 3000 об/мин, для контроля момента использовался датчик момента TRD-3K (3 кгс·м), для контроля скорости применялся датчик частоты вращения МР-981, для соединения валов испытуемой машины с нагрузочным устройством применялись муфты марок VoWex M-19 и Ruflex 0-3TFx6-20. Электропитание АД производилось напрямую от трехфазной сети. Для достоверности результатов значения нагрузочных моментов задавались равными (2,64 Н·м), при обоих режимах (с исправным и неисправным подшипником). Ниже показан вид ротора и подшипники АД (рис. 1).



Рис. 1. Ротор и подшипники АД: а – внешний вид ротора АД, б – заводской подшипник и подмененный подшипник с внутренней втулкой

Запись значений токов и напряжений выполнялось с помощью АЦП приставки (USB3000) и измерительной платы с тремя датчиками токов LEM HX 02-P [4] и тремя датчиками напряжений LV25-P SP5 [5]. Полученные значения использовались для спектрального анализа в пакете Matlab.

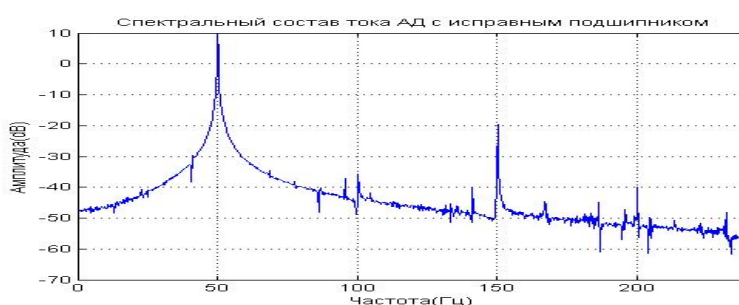


Рис. 2. Спектральный состав тока АД с исправным подшипником

При сравнении полученных графиков (рис. 2 и 3), можно отметить, что есть определенные различия, в частности, на нижнем графике (рис. 3) имеются частоты 45 Гц, 75 Гц и 150 Гц, которые выделяются среди спектрального состава.

Как правило, при спектральном анализе токовых характеристик сравнивают: увеличение количества частотных полос, рост их величины и определяют выделяющиеся характеристические частоты, которые соответствуют определенным видам повреждений [3]. В данном случае амплитуды на 75 и 150 Гц являются большими (рис. 3), относительно графика АД с исправным подшипником (рис. 2). После испытаний полученные значения КПД при питании АД от сети выглядят следующим образом: с исправным подшипником  $\eta_1=0,61$ ; с поврежденным подшипником  $\eta_2 = 0,59$ .

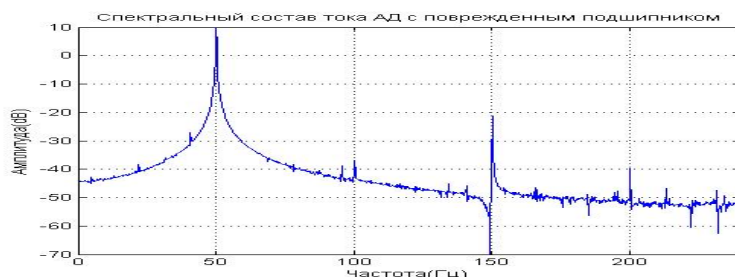


Рис. 3. Спектральный состав тока АД с поврежденным подшипником

Полученное в эксперименте различие КПД:  $\eta_1 - \eta_2 = 3,4 \%$  показывает, что наличие технологического эксцентриситета ротора существенно снижает эффективность работы АД. Некоторое отличие полученного в опыте КПД от

носителем паспортного значения (0,74) обусловлено превышением нагрузочного момента в опыте (2,64 Н·м) относительно номинала (2,54 Н·м), а также наличием значительного момента механических потерь на соединительных элементах испытательной установки (муфты, сборные валы).

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- наличие эксцентриситета ротора существенно снижает эффективность работы АД, что влечет перерасход электрической энергии;
- спектральный анализ тока статора позволяет осуществить выявление эксцентриситета ротора на начальных стадиях его развития, что дает возможность более эффективного планирования ремонтных работ;
- описываемый метод относится к онлайн диагностике и особенно хорошо подходит для установок, доступ обслуживающего персонала к которым затруднен и незапланированный выход из строя которых особо критичен.

#### *Библиографический список*

1. Sahil Sahni, Avid Boustani, Timothy Gutowski, Steven Graves. Electric motor remanufacturing and energy savings. MITEI-1, 2010.
2. Крупенин Н.В., Голубев А.В., Завидей В.И. Новые возможности в диагностике электрических машин // Электричество. 2011. № 9.
3. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока. Центр электромагнитной безопасности. С. 1-5.
4. Датчики тока LEM HX 03-20 P [Электронный ресурс] URL: [http://www.fek.by/doc/components/L\\_O/Lem/hx03-20p.pdf](http://www.fek.by/doc/components/L_O/Lem/hx03-20p.pdf)
5. Датчики напряжения LEM LV 25-P [Электронный ресурс] URL: [http://www.fek.by/doc/components/L\\_O/Lem/lv25-p.pdf](http://www.fek.by/doc/components/L_O/Lem/lv25-p.pdf)
6. Doosoo Hyun, Jongman Hong, Ernesto J. Wiedenburger. Automated Monitoring of Air-gap eccentricity for Inverter-fed Induction motors under standstill conditions. IEEE, 2010.
7. Bashir Mahdi Ebrahimi, Mehrsan Javan Roshtkhari. Advanced eccentricity fault recognition in permanent magnet synchronous motors using stator current signature analysis. IEEE, 2013.
8. Кузнецов С.Л., Колпахчан П.Г., Сербиновский Б.Б., Рогачев В.А. Токи статора асинхронного двигателя с эксцентриситетом ротора // Известия вузов. Электромеханика. 2008. № 4.
9. Полищук В.И., Новожилов А.Н., Исупова Н.А. Обзор способов диагностики эксцентриситета ротора машин переменного тока // Известия вузов. Электромеханика. 2011. № 6.

## **ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИЯ НИКЕЛЯ ИЗ СУЛЬФАТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

*Сахипгареев Р.Р., Шапенов П.М., Чернышов А.А., Останин Н.И.  
УрФУ, a.b.darintseva@ustu.ru*

Существует два способа получения электролитического никеля – электроэкстракция и электрорафинирование. В настоящее время в России используется технология электрорафинирования. В других странах приоритетной является электроэкстракция. Преимущества технологии электроэкстракции – возможность использования бедных по никелю руд, отсутствие ряда компрессорных операций; сокращение выбросов в атмосферу вредных веществ; снижение энергозатрат.

Для электроэкстракции никеля можно использовать электролиты, содержащие сульфат никеля и серную кислоту. Однако в литературе имеются ☐омпреворечивые сведения по концентрации серной кислоты в катодите и не приводятся режимы электролиза в промышленных ваннах.

Целью работы является выбор состава электролита и параметров электролиза, позволяющих получить максимальный выход по току при электроосаждении никеля из двухкомпонентного сульфатного электролита.

Установка для определения выхода по току представляла собой систему из двух электролитических ячеек, помещенных в термостат, и медного кулонометра. Электролит готовили из реактивов марки «хч» ( $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) и «осч» ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Продолжительность электролиза составляла 1–2 часа в зависимости от катодной плотности тока. В качестве катода использовали титановую матрицу, которую для облегчения снятия осадка никеля предварительно анодировали в течение получаса в растворе серной кислоты. Условия электролиза приведены в таблице.

Составы электролитов и режимы электролиза

| Концентрация никеля, г/л | pH                                     | Температура электролита, °C | Катодная плотность тока, $\text{A}/\text{м}^2$ |
|--------------------------|--|-----------------------------|--|
| 80                       | 2                                      | 60, 70, 80                  | 250  |
|                          | 1                                      |                             |  |
|                          | 0,87 (25 г/л $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) |                             |  |
|                          | 0,56 (50 г/л $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) |                             |  |
| 100                      | 1 и 2                                  | 60, 70                      | 250, 300, 350                                  |
| 120                      | 1, 2, 2,5 3                            | 60, 70                      | 200, 250, 300, 350                             |

Во всех опытах получены ровные, матовые катодные осадки никеля.

Экспериментальные результаты, полученные в электролите, содержащем 80 г/л ионов никеля, представлены на рис. 1. Они свидетельствуют о том, что с повышением pH увеличивается выход по току никеля. Росту катодного выхода по току никеля способствует также повышение температуры.

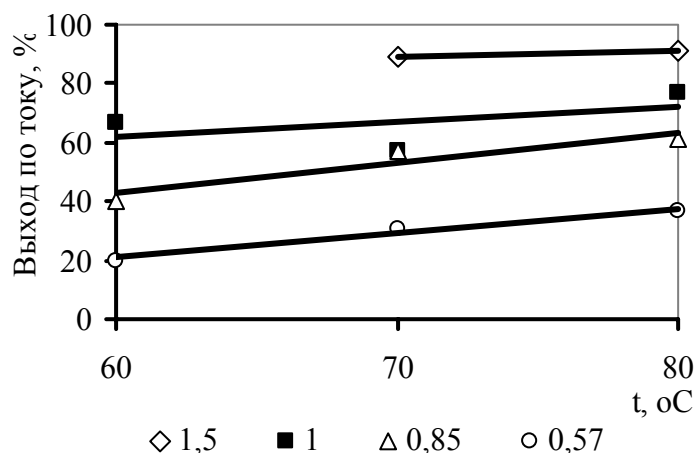


Рис. 1. Зависимость выхода по току от температуры при разных значениях pH

В связи с низким выходом по току никеля в электролитах, содержащих 25 и 50 г/л серной кислоты, в последующем отказались от использования электролитов с низким pH. Также сочли

нецелесообразным проведение электролиза при 80 °C, поскольку в промышленных электролизерах при этой температуре будет наблюдаться высокий унос в атмосферу цеха агрессивного электролита.

Результаты эксперимента, представленные на рис. 2, показывают, что даже при высокой концентрации ионов никеля катодный выход по току в электролите с  $\text{pH} = 1$  не превышает 60 %. Следовательно, эти электролиты не могут быть рекомендованы для электроэкстракции никеля.

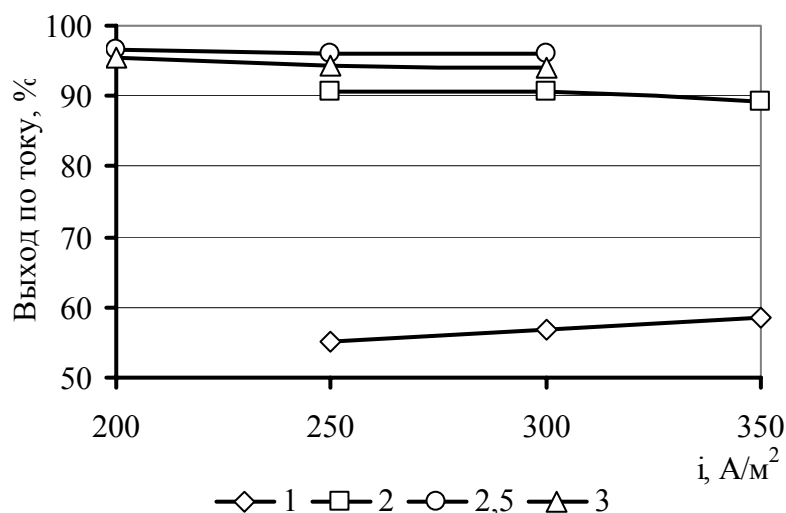


Рис. 2. Зависимость выхода по току от плотности тока при разных  $\text{pH}$  в электролите, содержащем 120 г/л никеля (температура электролита 60 °C)

Максимальный выход по току при температуре электролита 60 °C определяется при  $\text{pH}$  раствора 2,5. При этой величине  $\text{pH}$  меньшее влияние на выход по току

оказывает температура электролита. С увеличением плотности тока почти во всех случаях происходит незначительное снижение выхода по току.

На основании экспериментальных данных можно заключить, что с повышением  $\text{pH}$  увеличивается выход по току, достигая максимального значения при  $\text{pH}=2,5$ . Повышение температуры при низких значениях  $\text{pH}$  увеличивает выход по току значительно сильнее, чем при высоких.

Весь массив экспериментальных данных по влиянию состава электролита и параметров электролиза на катодный выход по току при электроосаждении никеля из сульфатного электролита был обработан с помощью регрессионного анализа в пакете прикладных программ Excel. Анализ заключался в определении коэффициентов уравнения регрессии, статистических оценок коэффициентов уравнения регрессии и его адекватности.

Результаты анализа показали, что концентрация ионов никеля в интервале 80 - 120 г/л не оказывает значимого влияния на выход по току. Методом последовательного исключения незначимых коэффициентов, получили уравнение регрессии, устанавливающее функциональную зависимость между переменными параметрами и функцией отклика:

$$W_t = 69,905 + 0,073 C(\text{Ni}^{2+}) - 0,015 \cdot i_k + 0,170 \cdot t + 3,598 \cdot \text{pH}.$$

Полученное уравнение адекватно описывает экспериментальные результаты в исследованной области  $\text{pH}$  от 2 до 3. При подстановке значений параметров электролиза в данное уравнение получили величины выхода по току, близкие к экспериментальным. Это свидетельствует о возможности использования полученного уравнения регрессии для расчета выхода по току при известных параметрах электролиза.

Таким образом, полученные результаты позволили определить состав электролита и режим электролиза, при котором электроэкстракцию никеля из сульфатного электролита можно проводить с высокими технико-

экономическими показателями и существенно сократить энергозатраты на производство.

## ЭНЕРГИЯ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА – ЧТО МЫ О НЕЙ ЗНАЕМ?

*Серебряков Д.В., Кондратьев С.П.  
СРО НП «Союз «Энергоэффективность», УрФУ  
director@npse.ru; [spk@npse.ru](mailto:spk@npse.ru)*

В настоящее время валовой региональный продукт (ВРП) принимается в качестве определяющего показателя для оценки успешности всей деятельности руководителя региона. Но это очередная попытка введения целевого показателя по принципу «одной проекции», т.е. финансовой, проще говоря, рублевой. Пренебрежение не менее важной, хотя и «второй проекцией», а именно ресурсной (энергетической) составляющей, ведет к дальнейшему укреплению сложившейся в России экономической основы для новой волны роста цен (тарифов) на энергетические ресурсы, многочисленные виды услуг (перевозки, сельхозпродукты и т.д.). Итог управления по одной проекции в экономике может быть только один – это рост инфляционной составляющей, попытки сокращения денежной массы, утечка капиталов и т.д. и т.п.

Попробуем убедиться в этом на примере решения проблем энергосбережения в российской промышленности. Наиболее распространенное в Интернете мнение (например, С. Коваль и др.), что у энергосбережения есть две главные мотивации: энергия и деньги. Если доступ к энергии лимитирован, то это дополнительный мотив к экономии (например, лимиты на использование газа). Но главный стимул – это всё-таки деньги. Отметим от себя, что эти и тому подобные «стимулы» спорны и, более того, наивны. Практика показала, что лимит – это еще и стимул к коррупционной составляющей, а деньги здесь – это стимул к росту цен на любую продукцию, особенно, если она имеет, хоть □окой-то спрос. В энергосбережении нет, и не может быть однозначных мотиваций, стимулов и т.д. Поэтому в области энергоэффективности должны быть принудительная и поощрительная составляющие. Тем не менее, у нас продолжают рассматривать проблематику энергоэффективности в формате, в котором энергосбережение для всех без исключения – единственное из направлений сокращения ресурсных издержек. Тем более, что энергосберегающих мер сокращения издержек – сотни. Схема выбора их задана Федеральным законом № 261-ФЗ: заказывай энергетическое обследование и получай энергетический паспорт. Там все предложено, тем более, если необходимая по закону регистрация энергопаспорта выполнена. Так ли здесь все однозначно, рассмотрим на примере одного из уральских промышленных предприятий, по понятным причинам назвать его не имеем возможности.

Предприятие приобретает до полумиллиона тонн условного топлива (т у.т.) в год энергоресурсов, использует их при энергетической составляющей в себестоимости произведенной продукции на уровне 25 %. Таковую деятельность достаточно энергоэффективной не назовешь. Энергетический паспорт потребителя ТЭР составлен грамотно, в соответствии со всеми установленными



требованиями, пожалуй, кроме немногих итоговых цифр. Экономия энергоресурсов в натуральных показателях составила менее двух процентов, в рублевом эквиваленте – практически 3 %. Это на ближайший период в 5-6 лет. Разница показателей вызвана набором преимущественно мероприятий по экономии электроэнергии, как наиболее дорогого энергоресурса, из приобретаемых со стороны. Проведено было сравнение и по ряду других крупных предприятий. Оно показало, что предлагаемая экономия энергоресурсов, приведенных к т у.т. в формате энергетических обследований по 261-ФЗ, не превышает 6-7 % от объема потребленных по номенклатуре основной продукции. Общее потребление энергетических ресурсов на этих предприятиях может быть еще на 15-20 % выше. Отсюда следует, что перспектива возможного повышения энергоэффективности в уральской промышленности составит 0,5-1,0 % в год на ближайшие 5-6 лет. Можно ли с этим согласиться?

Здесь следует обратиться к определению понятия энергетическое обследование по 261-ФЗ: *это сбор и обработка информации об использовании энергетических ресурсов в целях получения достоверной информации об объеме используемых энергетических ресурсов, о показателях энергетической эффективности, выявления возможностей энергосбережения и повышения энергетической эффективности с отражением полученных результатов в энергетическом паспорте*. Пожалуй, ключевое слово здесь: «возможностей» энергосбережения. Вряд ли можно разработать такую форму энергетического паспорта потребителя ТЭР, чтобы в нем можно было учесть все возможности энергосбережения. И следует ли этого добиваться на уровне федерального законодательного акта, применительно ко всем возможным видам и формам экономической, бюджетной, регулируемой и т.д. видам деятельности? Тем более, такие формы уже отработаны в виде соответствующих систем стандартизации и сертификации. Если обратиться к практике Европейского союза, а у него есть кое-какие достижения в части энергоэффективности, то следует выделить три принципиальных направления развития возможностей энергосбережения на уровне стандартов и Директив, полезных, да и *обязательных* для всех:

- энергетическое планирование или энергетический анализ, согласно ISO 50001:2011 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению. Энергетический анализ следует рассматривать как комплексный метод исследования экономических явлений и технологических процессов, основанный на использовании как *финансовых* показателей, так и показателей *ресурсной (энергетической)* эффективности;

- наилучшие доступные технологии обеспечения энергоэффективности [1];

- обеспечение подлинной сопоставимости показателей энергоэффективности по конкретным процессам, подразделениям, предприятиям, согласно [1].

Причем, эти принципы развития *возможностей* энергосбережения не нашли отражения в 261-ФЗ, хотя данные формы стандартизации, применяемые в ЕС, рекомендованы к использованию и введены в Российской Федерации, в том числе и в виде национальных стандартов [2, 3] и других.

В связи с тем, что в РФ, по сути дела, наблюдаются элементы независимого развития федерального законодательства и национальных стандартов в области энергоэффективности, государственные и частные предприятия (организации) России вынуждены проводить обязательные энергетические обследования, в соответствии с требованиями 261-ФЗ, а параллельно создавать систему энергетического менеджмента по ISO 50001:2011 (ГОСТ Р ИСО 50001-2012). Не менее двойственная ситуация у саморегулируемых организаций в области энергетических обследований. В их обязанность входит неукоснительное соблюдение требований подзаконных актов уполномоченного федерального органа в области энергетических обследований при проведении энергообследований предприятий, с которыми нередко входят в противоречие положения систем энергоменеджмента, создаваемых на этих же предприятиях. При этом «потолок» динамики энергоэффективности на предприятиях определяется по энергетическому паспорту потребителя ТЭР, введенному 261-ФЗ.

Особенность ситуации еще и в том, что в ГОСТ Р ИСО 50001 прописан ряд новых для законодательства России инструментов энергетической политики, таких как энергопланирование, проще говоря, «энергетический анализ» [4]. Массовое освоение методологических основ такого энергетического анализа способствовало бы распространению этой практики среди хозяйствующих субъектов, а отсюда – к формированию условий для перехода к оценке итогов хозяйственной деятельности по двум проекциям: финансовой и ресурсной. Это способствовало бы, как обеспечению *подлинной сопоставимости* показателей энергоэффективности по конкретным процессам, подразделениям, ☐омпресс☐ерям, так и освоению на предприятиях универсального аналитического инструмента мониторинга энергоэффективности производства в целом, так и отдельных процессов и оборудования.

«Подлинная сопоставимость» – исключительно важный и обязательный инструмент аудита и мониторинга в области энергетической эффективности. Его преимущество перед другими аналогичными инструментами в том, что без подлинной сопоставимости невозможно создать систему объективного сравнительного анализа энергоэффективности. Именно такие системы получили в мировой практике широкое развитие [1]. Чтобы реально и объективно знать и сравнивать показатели энергоэффективности предприятий уральского региона целесообразно создание схемы сравнительного анализа энергоэффективности предприятий. Центральным элементом этой схемы должен стать специализированный сайт в Интернете. В большинстве развитых стран основанием для создания такой системы является соглашение между правительством страны (региона) и предприятиями. В наших условиях авторами такой инициативы могли бы быть региональные союзы промышленников и предпринимателей, малого и среднего бизнеса.

#### *Библиографический список*

1. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям (НДТ) обеспечения энергоэффективности / В.Н. ☐омпресс☐е (АНО «Эколайн»), Е.Г. Гашо (Московский энергетический институт), Т.В. Гусева (РХТУ им. Д.И. Менделеева), Г.В. Панкина (Академия стандартизации, метрологии и сертификации), Я.П. Молчанова (РХТУ им. Д.И. Менделеева),

- Е.М. Аверочкин (АНО «Эколайн»). Европейская комиссия, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Фонд стратегических программ (SPF) Министерства иностранных дел Великобритании [и др.], 2009. 489 с. [Электронный ресурс] URL: [http://www.ipcc-russia.org/public/cluster07/Energy\\_Efficiency.pdf](http://www.ipcc-russia.org/public/cluster07/Energy_Efficiency.pdf); 2012. 492 с. [Электронный ресурс] URL: <http://14000.ru/projects/energy-efficiency/EnergyEfficiency2012RUS.pdf>
2. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению. М.: Стандартинформ, 2012. 52 с.
3. ГОСТ Р 54198-2010 Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности. М.: Стандартинформ, 2011. 5 с.
4. Щелоков Я.М., Данилов Н.И., Лисиенко В.Г. Энергетический анализ и управление: территории, производства, технологии: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, РУО АИН им. А.М. Прохорова, 2013. 109 с.

## **ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ВАРИАНТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Синькевич А.Н., Бушуев А.Н.*

*Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)*

*Оренбургского государственного университета, г. Орск*

*[alyon1603@mail.ru](mailto:alyon1603@mail.ru)*

Немалую долю расходов любого производства составляют затраты на энергоресурсы. В условиях постоянного роста тарифов на сетевую электроэнергию особый интерес вызывает малая энергетика – генерация тепла и электроэнергии своими силами при помощи мини-ТЭЦ или иных источников. Сегодня в мире насчитывается более 900 мини-металлургических производств.

Вопрос энергосбережения в металлургической отрасли производства за счет повышения эффективности генерации электроэнергии может быть решен только комплексной оценкой множества энергетических источников. Задача проводимого анализа заключается в оценке данных направлений энергетики с учетом не только показателя эффективности, но и географических и эколого-экономических параметров систем.

Альтернативная энергетика в своем развитии наталкивается на огромное количество технических, экономических и экологических барьеров, препятствующих ее внедрению в централизованные энергосистемы. Такие как:

1. Способ их освоения. Даже одни и те же возобновляемые источники энергии (ВИЭ) различны по своим техническим характеристикам, а это существенно ограничивает их производственную приемлемость и конкурентоспособность.

2. Природные процессы, лежащие в основе ВИЭ в разных районах различны по своей интенсивности. Отбор энергии является прерывным и неравномерным, что заставляет сочетать генерирующие установки ВИЭ с дорогостоящими аккумулирующими устройствами или же иметь резерв их замены в общих сетях электротеплоснабжения.

3. Практически все ВИЭ выступают пока что только как локальные, привязанные к изолированным потребителям и редко подключаемые к общим сетям энергоснабжения.

Таким образом, применение индивидуальных источников для энергообеспечения невозможно, а также в силу чрезвычайно малой удельной мощности таких установок.

В России имеется практика использования малых передвижных АЭС мощностью порядка 1000-1500 кВт. Согласно действующим правилам, энергетический атомный реактор имеет рабочий ресурс 30 – 45 лет.

Постройка малой индивидуальной АЭС, обеспечивающей компрессорией металлургическое предприятие, невозможна. Затраты составляют 40–100 % расходов на эксплуатацию станции, это делает стоимость электроэнергии примерно на 16–20 % дороже. При этом не учитываются немалые суммы, затраченные на переработку и захоронение отходов, консервирование отработавших реакторов. Помимо этого, и само сооружение АЭС обходится примерно в 1,3-1,5 раза дороже, чем постройка аналогичной по мощности ТЭС. Электростанции на основе атомной энергетики не могут рассматриваться в перспективе, как индивидуальные промышленные электростанции.

Гидравлическая электростанция не может располагаться в непосредственной близости от промплощадки металлургического предприятия, чтобы выступать в качестве индивидуального источника.

Если возможно достаточно близкое расположение металлургического предприятия и электростанции (что крайне редко, примером в России может выступать только Красноярская и Братская ГЭС) и непосредственный подвод по выделенной линии генерирующей мощности к вводам металлургического предприятия, то можно говорить об относительно высокой эффективности энергообеспечения, если не принимать во внимание некоторые отрицательные эколого-экономические моменты.

В себестоимости энергии ГЭС отсутствует топливная составляющая, доля которой у тепловых станций достигает 60 %. Эксплуатационные затраты и амортизационные отчисления пропорционально разносятся на планируемый объем выработки ГЭС, поэтому для малых станций их доля в себестоимости в разы больше, чем для крупных. Поэтому нельзя утверждать, что себестоимость производимой электроэнергии на ГЭС ниже, чем на ТЭС или АЭС.

Фактически за гидроэнергетикой не остается никакого преимущества перед тепловой, за исключением отсутствия выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу. Поэтому электроснабжение металлургического предприятия невозможно, поскольку данный способ генерации энергии на сегодняшний день имеет чрезвычайно много не учитываемых затрат и отрицательных воздействий на экологическое состояние Земли.

На сегодняшний день ни одно из направлений альтернативной энергетики не может выступать как индивидуальный источник энергии для металлургического производства. Если нетрадиционная энергетика, так же как атомная и гидроэнергетика, вполне четко прорисовывают картину малой возможности и эффективности их использования в целях энергообеспечения металлургической отрасли промышленности, то с тепловыми электрогенерирующими системами вопрос обстоит несколько иначе. Вопрос оценки эффективности данных энер-

гоисточников заключается в анализе многих определяющих показателей (расход топлива, показатели надежности, экологические показатели и т.д.).

Факт относительно низкого показателя эффективности системы энергообеспечения на базе паротурбинного цикла особого доказательства не требует (показатель в лучших случаях достигает 40-42 % при использовании пара сверхкритических параметров).

Эффективными технологиями считается использование газа для производства электрической энергии – это электростанции на базе газопоршневых двигателей (ГПД) внутреннего сгорания и газотурбинных установок (ГТУ). В выборе энергоисточника непосредственно из двух представителей газовых двигателей определяющими моментами можно выделить:

- стоимость капитального ремонта у ГПД значительно выше;
- в соотношении температуры и мощности ГТУ выигрывает, поскольку его мощность повышается при понижении температуры;
- в 2 раза выше соотношение тепловой и электрической энергии у ГТУ;
- отрицательные экологические показатели ГПД по сравнению с ГТУ;
- низкая единичная мощность ГПД по сравнению с ГТУ;
- высокая занимаемая площадь ГПД ( $\text{м}^2/\text{кВт}$ ).

На рис. 1 и 2 приведены диаграммы сравнения удельных мощностей ( $\text{кВт}/\text{м}^2$  и  $\text{кВт}/\text{т}$  соответственно) различных производителей и моделей газопоршневых и газотурбинных установок.

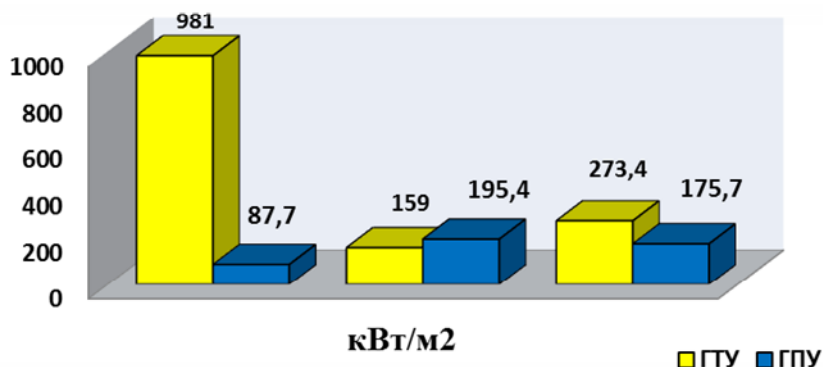


Рис. 1. Сравнение удельной мощности на единицу занимаемой площади ( $\text{кВт}/\text{м}^2$ ) газотурбинных и газопоршневых двигателей

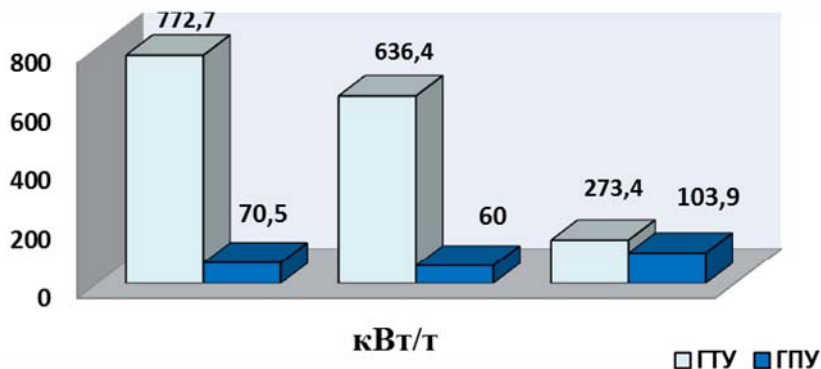


Рис. 2. Сравнение удельной мощности на единицу массы ( $\text{кВт}/\text{т}$ ) газотурбинных и газопоршневых двигателей

Фактов в пользу газотурбинных систем вполне достаточно для утверждения, что максимально эффективная система энергообеспечения непосредственно металлургического производства может основываться только на газотурбинных установках.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Ситдикова Л.Ф., Иванцова М.Н., Селезнева И.С.  
УрФУ, [i.s.selezneva@ustu.ru](mailto:i.s.selezneva@ustu.ru)*

Разработанная в настоящее время Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» направлена на обеспечение повышения конкурентоспособности, финансовой устойчивости, энергетической и экологической безопасности российской экономики, а также роста уровня и качества жизни населения за счет реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности на основе модернизации, технологического развития и перехода к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов.

Входящая в состав этой программы подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в промышленности» предусматривает проведение комплекса энергосберегающих мероприятий в энергоемких отраслях, в том числе в пищевой промышленности. К этим мероприятиям относятся:

- усовершенствование технологических процессов;
- повышение эффективности систем пароснабжения за счет налаживания учета пара, теплоизоляции паропроводов, арматуры, установки конденсатоотводчиков;
- установка новых электродвигателей, соответствующих классу высокоэффективных;
- повышение эффективности систем освещения за счет использования энергоэффективных ламп с электронной пускорегулирующей аппаратурой, введение систем контроля освещением при активизации использования дневного света [1].

Половина потребляемого предприятиями пищевой промышленности топлива и более трети электроэнергии преобразуется на специальных станциях и установках в энергетический потенциал разнообразных энергоносителей (теплоту пара и горячей воды; энергию сжатого воздуха, кислорода, технического холода и т.п.), применяемых в технологических комплексах предприятия; остальная часть топлива и электроэнергии используется в технологических комплексах непосредственно.

Приготовление и упаковка пищевых продуктов включают много различных процессов, большая часть которых требует нагрева или охлаждения. Основными видами энергоресурсов, потребляемых этими предприятиями, являются: газ, электроэнергия, пар и горячая вода. На молочных заводах наи-

более энергоемкими являются процессы обработки оборудования перед использованием и тепловые процессы, связанные с пастеризацией продукта или выдерживания его при определенной температуре (например, производство ряженки) [2].

Все энергетические процессы на молокоперерабатывающем предприятии ООО «Ураллат» г. Березовского могут быть разделены на силовые и тепловые.

К *силовым процессам* относятся процессы, на которые расходуется механическая энергия, необходимая для привода различных механизмов и машин (насосов, вентиляторов, компрессоров, подъемно-транспортного оборудования и т.д.).

К *тепловым процессам* относятся процессы, расходующие тепло различных потенциалов. На предприятии используют среднетемпературные, низкотемпературные и криогенные процессы. Среднетемпературные процессы, выполняются при температуре от 150 до 500 °С. Это процессы сушки, варки, стерилизации, нагрева, мойки. Низкотемпературные процессы осуществляются при температуре от -153 до 150 °С (отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование воздуха и др.). Криогенные процессы происходят при температуре ниже -153 °С (ожижение аммиака) [3].

К основным направлениям энергосберегающих мер в технологическом процессе производства ряженки на ООО «Ураллат» относятся: применение пластинчатых теплообменных установок взамен трубчатых, использование в качестве теплоносителя пароводяной смеси (индивидуального приготовления в системе конвекционный бак – инжектор). Применение пластинчатых теплообменников позволяет охлаждать молоко в аппарате без подвода хладагента и нагревать до температуры 75 °С без дополнительного теплоносителя – только за счет полного использования регенеративной способности пластинчатого аппарата.

Для сбережения электроэнергии предлагается заменить сепараторы отечественного производства с частичной пульсирующей центробежной выгрузкой осадка полузакрытого исполнения марки А1-ОЦМ-5 на более прогрессивные сепараторы с самоочищающимся герметичным барабаном фирмы Альфа-Лаваль, тип сепаратора В610HGD-34С.

Годовая мощность производства ряженки в базовом варианте на молокоперерабатывающем предприятии ООО «УРАЛЛАТ» – 1300 т, а в проектом варианте – 1380 т. Количество рабочих дней в году (D) для данного предприятия составляет 340. Расчетное рабочее время сепаратора марки 1-ОЦМ-5, обеспечивающего производство ряженки в базовом варианте, если известно, что мощность электропривода сепаратора – 11,5 кВт, а производительность – 2000 л/ч (2 м³/ч), [4] составит:

$$G_{\text{пр}}^{\text{сут}} = G_{\text{пр}}^{\text{год}} / D = 1300 / 340 = 3,92 \text{ т/сут},$$
$$\tau_{\text{сут}} = G_{\text{пр}}^{\text{сут}} / q_{\text{сут}} = 3,92 / (2 \cdot 1028 \cdot 10^{-3}) = 1,91 \text{ ч/сут},$$

где 1028 кг/м³ - плотность перерабатываемого молока.

Расчетное рабочее время сепараторов марки В610HGD-34С в проектом году при производительности, равной 4000 л/ч (4 м³/ч) [5], составит:

$$G_{\text{пр}}^{\text{сут}} = G_{\text{пр}}^{\text{год}} / D = 1380 / 340 = 4,34 \text{ т/сут},$$



$$\tau_{\text{сут}} = G_{\text{пр}}^{\text{сут}} / q_{\text{сут}} = 4,34 / (4 \cdot 1028 \cdot 10^{-3}) = 1,06 \text{ ч/сут.}$$

Годовые затраты электроэнергии на работу сепараторов определяются их мощностью и продолжительностью работы. Для сепаратора марки А1-ОЦМ-5:

$$W_{\text{сеп 1}} = 11,5 \cdot 1,91 \cdot 340 = 7468 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Для сепаратора марки В610HGD-34С:

$$W_{\text{сеп 2}} = 7,5 \cdot 1,06 \cdot 340 = 2703 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

По этим данным можно рассчитать годовую экономию электроэнергии от замены сепаратора:

$$W_{\text{год.экон}} = W_{\text{сеп 1}} - W_{\text{сеп 2}} = 7468 - 2703 = 4765 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год} = 4,77 \text{ МВт}\cdot\text{ч/год.}$$

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что годовая экономия электроэнергии от замены сепаратора отечественного производителя с частичной пульсирующей центробежной выгрузкой осадка полузакрытого исполнения марки А1-ОЦМ-5 на более прогрессивный сепаратор с самоочищающимся герметичным барабаном фирмы Альфа-Лаваль (тип сепаратора В610HGD-34С) составит 4,77 МВт·ч, что равно 63,8 % от базового объема потребления электроэнергии на участке сепарации.

#### *Библиографический список*

1. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»: Утв. распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 2446-р.
2. Горбатенко Я., Овчинникова М. Особенности и перспективы энергосбережения в молочной промышленности // Молочная промышленность. 2007. № 6. С. 12.
3. Харитонов В.Д., Евдокимов И.А., Алиева Л.Р. Тенденция развития технологий переработки молока // Молочная промышленность. 2003. № 10. С. 5.
4. Паспорт на сепаратор А1-ОЦМ-5. Березовский: ООО «Ураллат», 2011.
5. Паспорт на сепаратор В610HGD-34С. Березовский: ООО «Ураллат», 2011.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПК ANSYS**

*Скворцов И.А., Гусенкова Н.П.*

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, [tevp@tvp.ispu.ru](mailto:tevp@tvp.ispu.ru)*

Теплообменные аппараты (ТА) широко применяются во многих отраслях промышленности. Оптимальная конструкция ТА позволяет снизить его материалоёмкость и повысить энергоэффективность. По этой причине выбор такой конструкции является важной задачей. Наиболее рациональным методом решения обозначенной проблемы является численное моделирование.

В данной работе объектом моделирования является кожухотрубчатый ТА, условное обозначение: 380ТН-Г-6-М8-О-19-5330-1-АЭС.

В работе использовался модуль fluid flow (fluent), конечно-элементного программного комплекса ANSYS. В процессе моделирования были решены следующие задачи:

1. Разработана трехмерная геометрическая модель данного теплообменника, соответствующая реальным параметрам. Построение велось в разделе



«DesingModeler (DM)». В целях уменьшения количества узлов сетки было принято решение рассматривать половину теплообменника, получившуюся при симметричном разрезе (рис. 1).

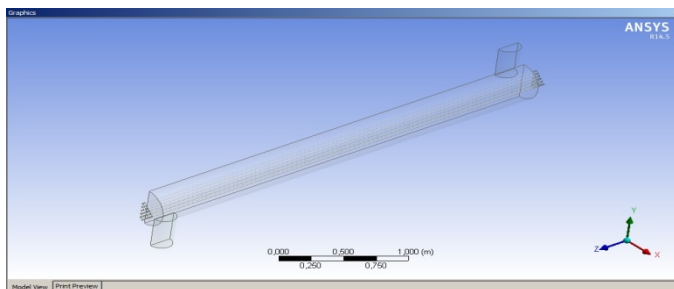


Рис. 1. Построение геометрии в ПК ANSYS

6. Выбрана расчетная сетка типа «cutcell» с минимальным размером 3 мм (рис. 2.).

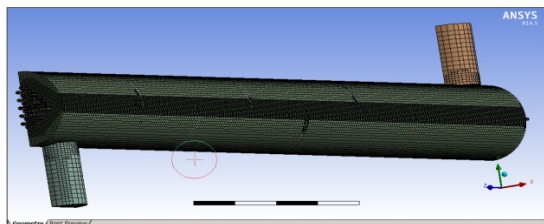


Рис. 2. Построение расчетной сетки

7. Третьим этапом моделирования являлось задание граничных условий и условий протекания процесса (рис. 3).

В раздел «setup» были заданы массовые расходы теплоносителей, температуры теплоносителей на входе, выбрана модель турбулентности (k-epsilon) и заданы идеальные условия теплообмена.

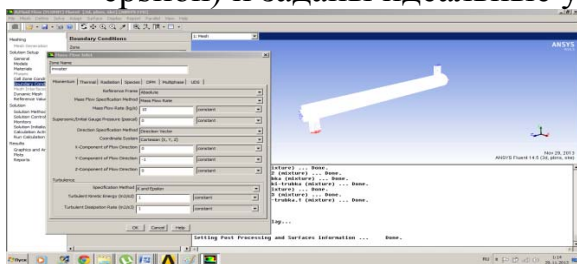


Рис. 3. Задание граничных условий

8. В результате расчета, в разделе «results» можно оценить температурное поле (рис. 4), поле скоростей (рис. 5), поле давлений и пр.

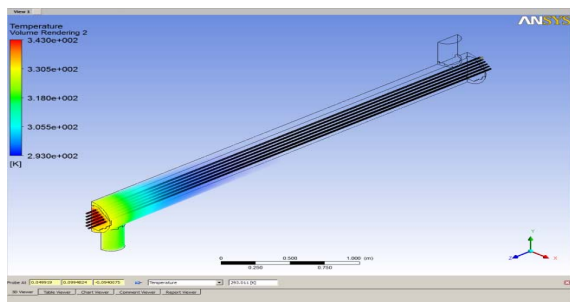


Рис. 4. Поле температур

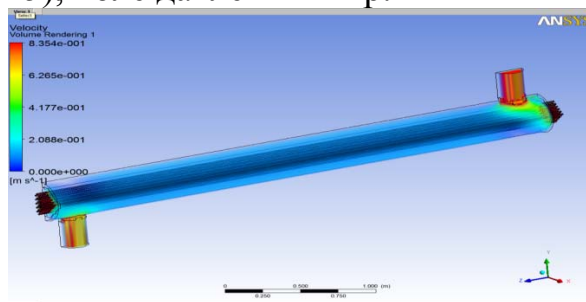


Рис. 5. Поле скоростей

9. В дальнейшем ТА был модифицирован, путем установки турбулизирующих перегородок по ходу движения холодного теплоносителя, результаты моделирования представлены на (рис. 6) и (рис. 7).

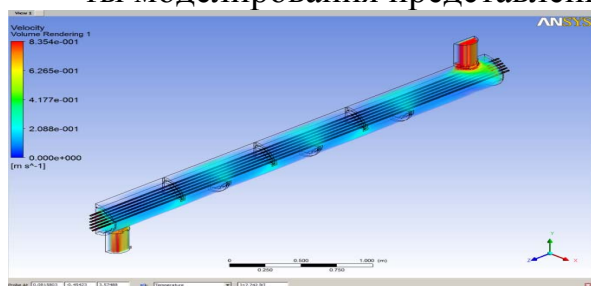


Рис. 6. Поле скоростей

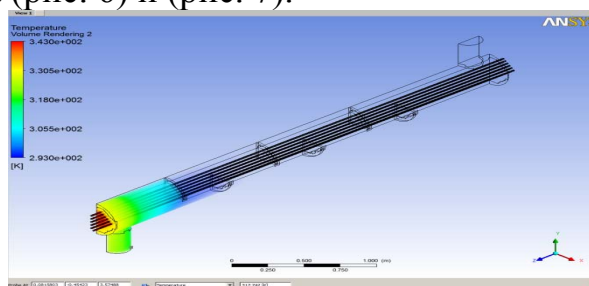


Рис. 7. Поле температур

Анализ результатов проведенного расчета показал, что при установке перегородок повышается энергетическая эффективность ТА вследствие увеличения скорости теплоносителя и, следовательно, увеличения среднего коэффициента теплоотдачи. Таким образом, габаритные размеры ТА могут быть уменьшены при неизменности тепловой мощности аппарата. Это приведет к уменьшению его металлоёмкости и, следовательно, затрат на его производство.

**Вывод.** Программный комплекс ANSYS позволяет существенно ускорить процесс моделирования, расчета и оптимизации ТА по сравнению с инженерными методиками. Разработанная модель может успешно применяться к ряду подобных ТА для выбора их оптимальной конструкции.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

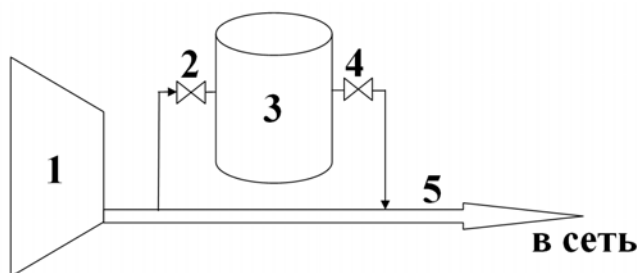
*Слепова И.О., Борисова И.В., Демин Ю.К., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
[dyomin.ura@yandex.ru](mailto:dyomin.ura@yandex.ru)*

Сжатый воздух нашел широкое применение во многих областях промышленности, только в черной металлургии на его производство тратится 5...7 % от общего расхода энергии на производство основного продукта [1].

При этом работа воздушного компрессора сильно зависит от параметров окружающей среды. Так, поддерживая постоянный объемный расход, компрессорная установка выдает разную массовую производительность в зависимости от температуры атмосферного воздуха, а, следовательно, от его плотности.

Таким образом, имеется разность производительности: ниже в светлое (когда температура атмосферного воздуха выше) и выше в темное (когда температура атмосферного воздуха ниже) время суток. При этом нужно учесть, что тарифы на электроэнергию, идущую на привод компрессора, в ночное время ниже, чем в дневное. Учитывая это, возникает задача выравнивания производительности компрессора, путем аккумуляирования «дешевого» сжатого воздуха в ночное время.

Предложена принципиальная схема аккумуляирования сжатого воздуха (рисунок).



Принципиальная схема  
аккумуляции

На рисунке в ночное время избыточный (по отношению к среднесуточной производительности) сжатый воздух из компрессора (1) через клапан (2) поступает в аккумулятор (3) до тех пор, пока давление в аккумуляторе не станет больше давления сжатого воздуха на выходе из компрессора. Воздух занимает больший объем при более высокой температуре (за счет увеличения плотности), поэтому с

ростом температуры окружающей среды, а, следовательно, и температуры аккумулярованного сжатого воздуха, в аккумуляторе начинает расти давление. При превышении его давления сжатого воздуха на выходе из компрессора, открывается клапан (4) и часть воздуха стравливается в воздухопровод (5). После того, как давление в аккумуляторе вновь сравняется с давлением сжатого воздуха на выходе из компрессора, клапан (4) закрывается и открывается клапан (2).

Для оценки необходимого объема аккумулятора был произведен расчет для условий г. Магнитогорска (таблица) [2]. Принималось, что тариф на электроэнергию в дневное время составляет 2,47 руб./кВт·ч, в ночное – 1,2 руб./кВт·ч, продолжительность дня и ночи по 12 часов.

#### Результаты расчетов

|  | Январь | Февраль | Март  | Апрель                 | Май   | Июнь  | Июль  | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
|--|--------|---------|-------|------------------------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|
| 1  | 2      | 3       | 4     | 5                      | 6     | 7     | 8     | 9      | 10       | 11      | 12     | 13      |
| Температура днем, °С   | -18,3  | -18,1   | -12   | -1                     | 5,9   | 11,4  | 13,4  | 11,1   | 5,3      | -0,8    | -9,6   | -15,9   |
| Температура ночью, °С  | -10    | -8,8    | -2,1  | 10,6                   | 19,4  | 24,9  | 25,2  | 23,4   | 17,4     | 9,1     | -1,9   | -7,9    |
| Компрессор К-250: производительность – 4,25 м³/с;<br>давление на выходе – 0,9 МПа, мощность – 1600 кВт   |        |         |       |                        |       |       |       |        |          |         |        |         |
| Массовая<br>произво-<br>дительность<br>днем, кг/с  | 5,627  | 5,602   | 5,461 | 5,219                  | 5,062 | 4,968 | 4,964 | 4,994  | 5,096    | 5,245   | 5,457  | 5,580   |
| Массовая<br>произво-<br>дительность<br>ночью, кг/с   | 5,810  | 5,806   | 5,670 | 5,440                  | 5,304 | 5,202 | 5,168 | 5,211  | 5,317    | 5,436   | 5,619  | 5,755   |
| Средняя, кг/с  | 5,718  | 5,704   | 5,565 | 5,330                  | 5,183 | 5,085 | 5,066 | 5,102  | 5,206    | 5,340   | 5,538  | 5,667   |
| Эл. Эн. Допол-<br>нительно необ-<br>ходимая днем,<br>кВт·ч   | 312    | 350     | 366   | 407                    | 460   | 452   | 395   | 417    | 416      | 350     | 284    | 300     |
| Эл. Эн. Пере-<br>расходуе-<br>мая ночью,<br>кВт·ч  | 302    | 337     | 353   | 390                    | 439   | 431   | 379   | 400    | 399      | 338     | 276    | 291     |
| Стоимость<br>днем, руб   | 770    | 864     | 904   | 1004                   | 1135  | 1116  | 975   | 1029   | 1028     | 865     | 702    | 741     |
| Стоимость но-<br>чью, руб  | 362    | 405     | 423   | 468                    | 526   | 518   | 455   | 480    | 479      | 405     | 331    | 349     |
| Экономия в год, руб.   | 5 931  |         |       | Объем аккумулятора, м³ |       |       |       |        |          | 10 180  |        |         |
| Компрессор К-1500: производительность – 28,33 м³/с;<br>давление на выходе – 0,6 МПа, мощность – 8350 кВт |        |         |       |                        |       |       |       |        |          |         |        |         |
| Массовая<br>произво-<br>дительность<br>днем, кг/с  | 37,51  | 37,34   | 36,41 | 34,79                  | 33,75 | 33,12 | 33,09 | 33,29  | 33,97    | 34,96   | 36,38  | 37,20   |
| Массовая<br>произво-<br>дительность<br>ночью, кг/с   | 38,73  | 38,70   | 37,80 | 36,27                  | 35,36 | 34,68 | 34,45 | 34,74  | 35,45    | 36,24   | 37,46  | 38,36   |

Окончание табл.

| 1   | 2      | 3     | 4     | 5     | 6                                  | 7     | 8    | 9     | 10    | 11      | 12    | 13    |
|---|--------|-------|-------|-------|------------------------------------|-------|------|-------|-------|---------|-------|-------|
| Средняя, кг/с                                 | 38,12  | 38,02 | 37,10 | 35,53 | 34,55                              | 33,90 | 33,7 | 34,01 | 34,71 | 35,30   | 39,92 | 37,78 |
| Эл. Эн. Дополнительно необходимая днем, кВт·ч | 1627   | 1825  | 1911  | 2122  | 2398                               | 2357  | 2059 | 2175  | 2173  | 1827    | 1483  | 1565  |
| Эл. Эн. Перерасходуемая ночью, кВт·ч          | 1576   | 1761  | 1840  | 2035  | 2288                               | 2251  | 1978 | 2084  | 2083  | 1763    | 1441  | 1517  |
| Перерасход днем, руб.                         | 4016   | 4507  | 4719  | 5240  | 5922                               | 5822  | 5086 | 5371  | 5367  | 4513    | 3662  | 3864  |
| Перерасход ночью, руб.                        | 1891   | 2113  | 2208  | 2442  | 2746                               | 2702  | 2373 | 2501  | 2499  | 2115    | 1728  | 1821  |
| Экономия в год, руб.                          | 30 953 |       |       |       | Объем аккумулятора, м <sup>3</sup> |       |      |       |       | 101 800 |       |       |

Таким образом, аккумуляция сжатого воздуха представляется теоретически возможной и позволяет выровнять производительность компрессора, экономить электроэнергию и сократить эксплуатационные затраты на работу компрессорной установки. Все это, учитывая масштабы производства сжатого воздуха, может дать значительный энерго-экономический эффект.

#### Библиографический список

1. Системы воздухообеспечения промышленных предприятий / Н.В. Калинин, И.А. Кабанова, В.А. Галковский, В.М. Костюченко. Смоленск: Смоленский филиал МЭИ (ТУ), 2005. 122 с.
2. <http://www.pogoda.ru.net/climate/28838.htm>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ ПРОИЗВОДСТВА СЖАТОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ВРУ

Слепова И.О., Демин Ю.К., Картавцев С.В.

Магнитогорский государственный технический университет

*Iriska\_93\_07@mail.ru*

Воздухоразделительные установки (ВРУ) занимают ведущее место среди криогенных систем различного назначения. Это объясняется большой потребностью в промышленности и других сферах деятельности человека в продуктах разделения воздуха.

Для снабжения ВРУ сжатым воздухом широкое распространение получили многоступенчатые компрессоры с промежуточным охлаждением. Характерно, что для этих установок затраты энергии на сжатие воздуха составляют, в зависимости от типа установок, от 70 до 90 % всех энергозатрат [1].

Охлаждение сжатого воздуха в промежуточных теплообменниках обычно производят водой, которая имеет ряд недостатков:

- высокая температура затвердевания;
- отсутствие возможности нагревать до температур выше 40°C из-за солеотложения.

Таким образом, возникает две проблемы:

- недоохлаждение воздуха в промежуточных теплообменниках;
- потери тепла от сжатия, которое рассеивается в атмосфере в виде низкопотенциального тепла.

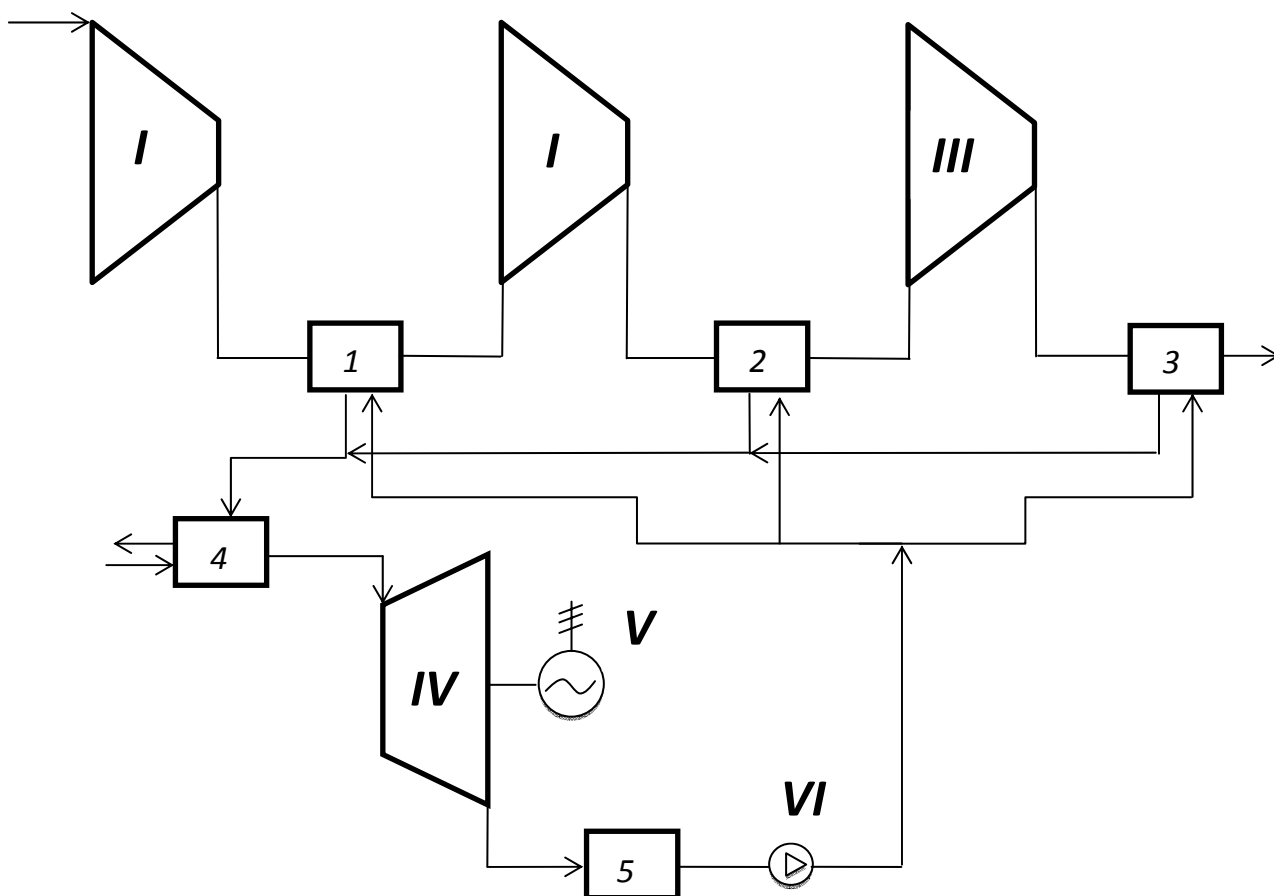
Возможным решением рассмотренных выше проблем может быть замена воды на другой теплоноситель. При этом возникает задача определения направления использования получаемого тепла сжатия.

В работе предлагается использовать в качестве охлаждающего теплоносителя фреон с последующим использованием тепла сжатия для выработки электроэнергии во фреоновом цикле [2].

Для оценки возможности выработки электроэнергии был произведен расчет сжатия воздуха до 0,6 МПа в компрессоре К-1500, широко применяемого для снабжения сжатым воздухом ВРУ, и его охлаждения в промежуточных воздухоохладителях.

Принципиальная схема промежуточного охлаждения сжатого воздуха и выработки электроэнергии представлена на рис. 1.

На рисунке атмосферный воздух поступает в компрессорную установку, где последовательно сжимается в ступенях сжатия I, II, III. Жидкий фреон поступает в промежуточные воздухоохладители 1, 2, 3, где охлаждает сжатый воздух до температуры, близкой к своей начальной температуре, и испаряется.



Принципиальная схема ВРУ

Далее газообразный фреон из промежуточных воздухоохладителей поступает в теплообменник 4, где его температура становится равной требуемой температуре на входе в турбину IV.

В турбине IV фреон расширяется с выработкой электроэнергии в генераторе V. Затем фреон поступает в теплообменник 5, где конденсируется и охлаждается до температуры, близкой к температуре окружающей среды. Насос VI сжимает жидкий фреон до нужного давления и подает его в промежуточные воздухоохладители.

Было рассчитано количество выделяемого при сжатии тепла и температура сжатого воздуха на входе в промежуточные воздухоохладители, в зависимости от температуры окружающей среды для условий г. Магнитогорска [3]. Сжатие в ступенях компрессора принято адиабатное, охлаждение в промежуточных воздухоохладителях – изобарное, недоохлаждение в теплообменнике 5 и воздухоохладителях 1, 2, 3 принято 5 °С. Результаты расчетов приведены в таблице.

Мощность полезно используемой теплоты сжатого воздуха

| Месяц  | Январь | Февраль | Март  | Апрель | Май   | Июнь  | Июль  | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
|--|--------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|
| Температура окружающей среды, °С                             | -14,1  | -13,5   | -7,1  | 4,5    | 12,6  | 18,2  | 19,2  | 17     | 11,1     | 3,8     | -5,9   | -11,9   |
| Количество выделяемого тепла в воздухоохладителе 1, МВт      | 1,385  | 1,385   | 1,394 | 1,409  | 1,418 | 1,425 | 1,426 | 1,423  | 1,417    | 1,408   | 1,395  | 1,388   |
| Количество выделяемого тепла в воздухоохладителях 2 и 3, МВт | 1,789  | 1,789   | 1,788 | 1,787  | 1,786 | 1,786 | 1,786 | 1,786  | 1,786    | 1,787   | 1,788  | 1,789   |
| Температура на входе в воздухоохладитель 1, °С               | 36,9   | 37,6    | 45,3  | 59,2   | 68,9  | 75,6  | 76,8  | 74,1   | 67,1     | 58,3    | 46,7   | 39,5    |
| Температура на входе в воздухоохладитель 2 и 3, °С           | 48,8   | 49,6    | 57,2  | 71,1   | 80,8  | 87,5  | 88,7  | 86     | 79       | 70,3    | 58,7   | 51,5    |

Исходя из полученных результатов с апреля по октябрь, для условий г. Магнитогорска имеется возможность выработки электроэнергии на базе производства сжатого воздуха. Учитывая масштабы его производства для ВРУ, можно получить значительный энергосберегающий эффект.

#### Библиографический список

1. Система воздухоснабжения промышленных предприятий / Н.В. Калинин, И.А. Кабанова, В.А. Галковский, В.М. Костюченко. Смоленск: Смоленский филиал МЭИ (ТУ), 2000. 122 с.
2. Щинников П.А., Ноздренко Г.В., Григорьева О.К., Курьянов А.А. Конструктивно-компоновочные параметры паровых турбин в составе парогазовых энергоблоков // Научный вестник НГТУ. 2013. № 3. С. 180-184.
3. <http://www.pogoda.ru.net/climate/28838.htm>

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Софронов Н.С., Распевалова И.А., Ртищева А.С.

Ульяновский государственный технический университет  
n.sofronov@inbox.ru; i.raspevalova@mail.ru; al.rtisheva@mail.ru

Микроклимат оказывает существенное влияние на организм человека, состояние его здоровья и работоспособность. Создавать благоприятный микроклимат можно благодаря инженерным системам, таким как: ограждающие конструкции, отопление, вентиляция, кондиционирование. Каждая из систем оказывает значительное влияние на микроклимат помещения, кроме того, с изменением параметров одной системы, необходимо менять параметры функционирования других инженерных систем.

В работе был рассмотрен процесс прогрева ограждающих конструкций. Эта задача актуальна в связи с последними разработками в сфере энергосбережения, т. к. многие энергосберегающие мероприятия базируются, к примеру, на применении форсированного натопа (снижение температуры внутреннего воздуха в промышленных, общественных и административных зданиях в ночные часы и выходные дни). В этих условиях появляются новые нерешенные вопросы, такие как:

1. Какое время потребуется, чтобы прогреть здание до необходимой температуры в рабочее время.

2. Каким образом будет влиять материал стенки на время и скорость прогрева помещения.

При создании математической модели полагали, что теплота от отопительных приборов  $Q_{\text{рад}}$  расходуется на процесс теплопередачи через ограждающие конструкции  $Q_{\text{теплопер}}$ , на прогрев ограждающих конструкций  $Q_{\text{акк}}$  и на нагрев воздуха в помещениях  $Q_{\text{возд}}$ :

$$Q_{\text{рад}} = Q_{\text{теплопер}} + Q_{\text{акк}} + Q_{\text{возд}}. \quad (1)$$

Для процесса расчета нестационарной теплопроводности использовался метод конечных разностей [1].

При этом использовалось дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda_{\text{огр}} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{\text{огр}}}{\rho c} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (3)$$

$$\frac{t_i^{k+1} - t_i^k}{\Delta \tau} = \frac{\lambda_{\text{огр}}}{\rho c} \frac{t_{i+1}^k - 2t_i^k + t_{i-1}^k}{(\Delta x)^2}, \quad (4)$$

$$t_i^{k+1} = t_i^k + \left( \frac{\lambda_{\text{огр}} \Delta \tau}{\rho c (\Delta x)^2} \right) (t_{i+1}^k - 2t_i^k + t_{i-1}^k), \quad (5)$$

где  $t$  – температура;  $\lambda$  – теплопроводность материала ограждающей конструкции;  $\rho$  – плотность материала ограждающей конструкции;  $c_{\text{бетона}}$  – теплоемкость

материала ограждающей конструкции;  $\delta$  – толщина ограждающей конструкции;  $\Delta x$  – шаг по координате;  $\Delta \tau$  – шаг по времени.

В расчетном примере было рассмотрено здание, которое состоит из одного помещения, где материал стен – бетон, все ограждающие конструкции – наружные. Высота стен – 2,7 м, длина и ширина стен – 5 м. Имеется 2 окна ( $F_{\text{окна}} = 4,15$  м). Отопление осуществляется с помощью чугунных радиаторов (скорость течения воды в радиаторе принимается равной 0,001 м/с). Нагрев при постоянной температуре отопительных приборов.

Начальные условия:

1. Температура наружного воздуха ( $t_{\text{вн}} = 0$  °C).
2. Температура внутреннего воздуха ( $t_{\text{н}} = 0$  °C).
3. Количество секций чугунных радиаторов ( $N_{\text{секций}} = 15$ ).
4. Температура теплоносителя в отопительном приборе ( $t_{\text{теплонос}} = 55$  °C).

Алгоритм расчета был реализован в среде MatLab. Результаты представлены в виде следующих графиков (рис. 1, 2).

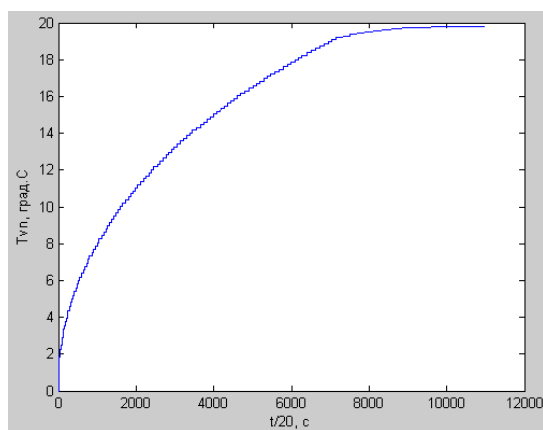


Рис. 1. График зависимости температуры внутреннего воздуха от времени

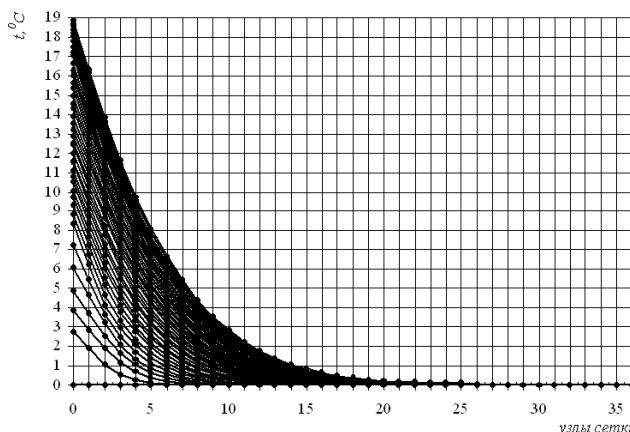


Рис. 2. Изменение температурного поля стенки со временем

Результаты расчетов показали, что нагрев воздуха до 19,8 °C произошел за 64,3 ч (2,7 сут.).

Таким образом, ограждающие конструкции могут играть существенную роль в энергосбережении, сохраняя необходимую комфортную температуру внутреннего воздуха при реализации прерывистого отопления.

#### *Библиографический список*

1. Мухачев Г.А. Термодинамика и теплопередача / Г.А. Мухачев, В.К. Щукин. М.: Высшая школа, 1991. 480 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ТРУБЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЕЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ**

Сумин А.Д.  
УрФУ, a.d.sumin@yandex.ru

Значительные достижения металлургической промышленности в последние годы обусловлены использованием современных методов исследования и



контроля, позволивших значительно углубить представления о металлургических процессах.

Несмотря на быстрое развитие новых отраслей промышленности, металлургия сохраняет и долго еще будет сохранять свое преимущественное положение в современной индустрии.

Существуют такие виды термической обработки, в которой не должна окисляться поверхность, т.е. обработка ведется с целью улучшения прочностных свойств изделия. Термообработка, имеющая целью изменить структуру и свойства металла в требуемом направлении, широко применяется в машиностроении. Большинство изделий проката железоуглеродистых сплавов подвергается длительной термообработке в муфельных, шахтных, колпаковых, проходных печах с газовым или электрическим нагревом.

В настоящее время более распространены печи с закрытым факелом, который можно закрыть специальными излучающими трубами. Такие трубы очень распространены как на западе, так и у нас в стране.

На рынке представлены излучающие трубы в различных видах исполнения и наиболее часто встречающиеся из них показаны на рис. 1. Прямые, U-образные трубы и тупиковые трубы-оболочки выполняются не только из специальных легированных сплавов, но также из керамики, преимущественно химически связанного SiSiC. Излучающие трубы из керамики, достаточно стойкие и успешно сопротивляющиеся воздействию высоких температур и тепловых ударов, имеют хорошую прочность даже при высоких температурах. Недостатков керамических излучающих труб не так много: плохо переносят механическое воздействие, трубы с рециркуляцией сложны в эксплуатации.

В основном, в промышленности применяют тупиковые излучающие трубы. На одной из нагревательных печей Синарского трубного завода фирмы «EBNER» установлено 50 тупиковых излучающих труб с рекуперативными горелками REKUMAT C150.

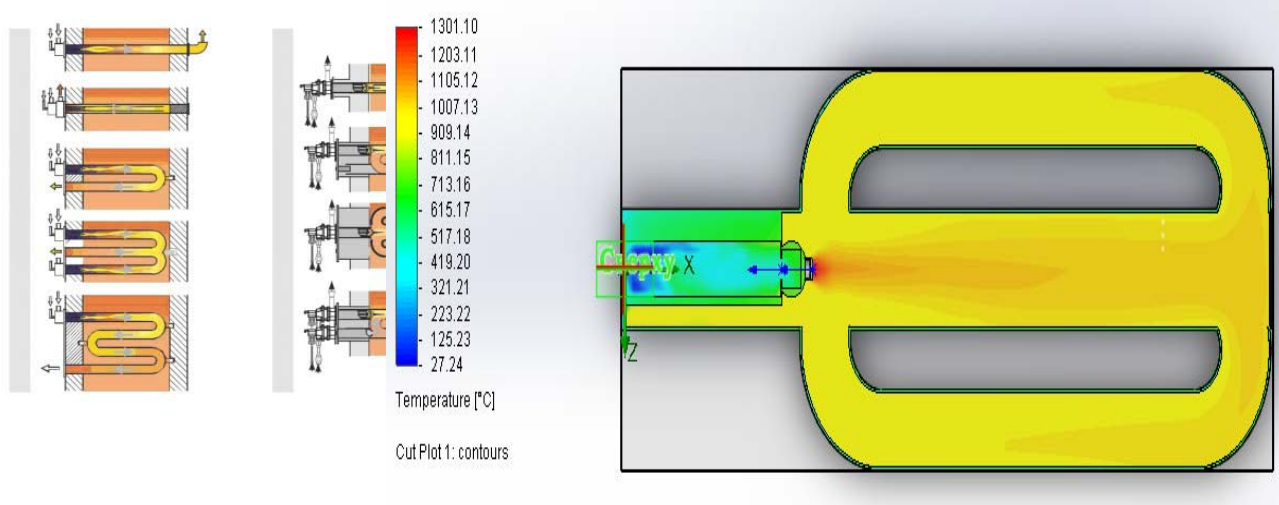


Рис. 1. Виды излучающих труб

Своей задачей определи равномерный нагрев излучающей трубы и сокращение затрат на природный газ за счет выбранной формы. Выбор был сделан на Ф-образную излучающую трубу. Благодаря ее форме рециркуляция уходящих газов гораздо больше способствует нагреву внешней поверхности излучающей трубы. Температурное поле трубы было проверено путем компьютерного анализа в программе SolidWorks. Равномерность нагрева Ф-образной излучающей трубы показана на рис. 2.

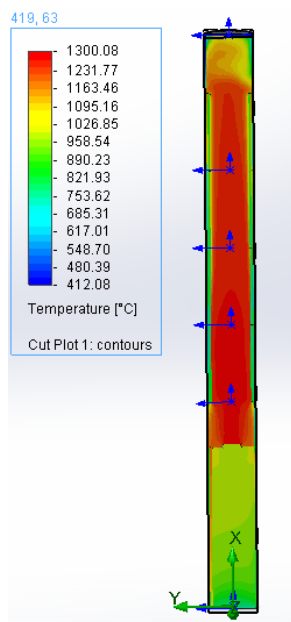


Рис. 2. Равномерность нагрева Ф-образной излучающей трубы

Для того чтобы нагреть Ф-образную трубу, необходима горелка большей тепловой мощности, чем используемая горелка у тупиковой трубы REKUMAT C150 – 40 кВт, такая как REKUMAT CX 200 – 80 кВт. Расчеты тепловых балансов тупиковой и Ф-образной трубы и их основные показатели приведены в табл. 1 и 2. Одна такая Ф-образная труба эквивалентна приблизительно трем тупиковым излучающим трубам и приведет к сокращению расхода газа, как это показано в сравнительной таблице тепловых балансов тупиковой и Ф-образной труб и основных показателей.

Таблица 1

Итоги расчетов тепловых балансов для тупиковой и Ф-образной трубы

| Приходные данные                        | кВт |         | %     | Расходные данные                      | кВт |         | %     |
|---|-----|---------|-------|---------------------------------------|-----|---------|-------|
| 1. Химическое тепло топлива             | Т   | 500,43  | 82,52 | Потери с уходящими газами             | Т   | 224,62  | 37,04 |
|   | Ф   | 2068,14 | 82,52 |                                       | Ф   | 928,28  | 35,62 |
| 2. Физическое тепло подогретого воздуха | Т   | 105,52  | 17,4  | Потери теплоты с химическим недожогом | Т   | 2       | 0,32  |
|   | Ф   | 436,10  | 17,4  |                                       | Ф   | 8,27    | 0,33  |
| 3. Физическое тепло подогретого топлива | Т   | 0,463   | 0,08  | Потери тепла теплопроводностью        | Т   | 379,84  | 62,64 |
|   | Ф   | 1,91    | 0,08  |                                       | Ф   | 1605,34 | 64,06 |
| Итого:                                  | Т   | 606,413 | 100   | Итого:                                | Т   | 606,413 | 100   |
|   | Ф   | 2506,15 |       |                                       | Ф   | 2506,15 |       |

Основные показатели работы тупиковой и Ф-образной трубы

|   |   |        |
|---|---|--------|
| Расход природного газа на печь, м <sup>3</sup> /ч | Т | 3889,2 |
|   | Ф | 3556,4 |
| Коэффициент использования тепла, %                | Т | 62,63  |
|   | Ф | 64,63  |
| Коэффициент топливный полезного действия, %       | Т | 62,73  |
|   | Ф | 62,84  |

Как показали итоги расчетов и компьютерное моделирование, выбор Ф-образной радиационной трубы позволит сократить расход газа, подаваемого на печь, почти на 8,5 %, по сравнению с применением тупиковых излучающих труб; кроме того, получили равномерный нагрев трубы. Так можно сократить металлоемкость печи и уменьшить время обслуживания печи в капитальном ремонте.

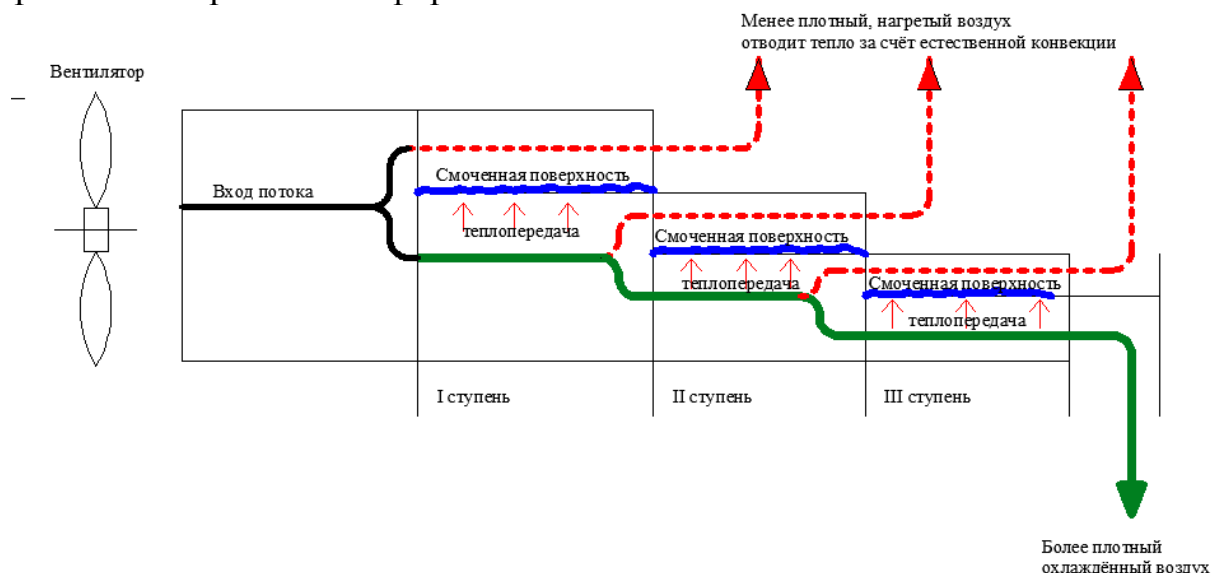
## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИКЛА МАЙСОЦЕНКО В КОНДЕНСАТОРАХ СИСТЕМ ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Таранун А.С.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

tarapoon@gmail.com

М-цикл – термодинамический цикл, разработанный В.С. Майсоценко относительно недавно, в настоящее время применяется в системах кондиционирования воздуха жилых и общественных зданий. Ввиду своей простоты считается наиболее перспективным в экономичном и экологичном отношении [1], наибольшую популярность М-цикл получил в установках заливного кондиционирования американской фирмы “Coolerado”.



Принципиальная схема М-цикла

Принцип действия цикла основан на эффекте Джоуля-Томсона, из базового курса физики известно, что при торможении газового потока о пористую перегородку происходит передача кинетической энергии молекул газа перегородке, в результате трения силы межмолекулярного взаимодействия ослабева-

ют, что приводит к увеличению плотности потока и нагреву перегородки. В случае торможения потока о слой жидкости (мокрое торможение) происходит интенсификация диффузии за счёт конвективного теплообмена на граничном слое.

Механизм процесса передачи теплоты в М-цикле основан на многоступенчатом дросселировании.

При входе потока воздуха в первую ступень происходит разделение потока на две части, первый поток идёт в смоченный канал, в результате мокрого торможения происходит насыщение и увеличение теплоёмкости потока, второй поток при сухом торможении в нижнем канале отдаёт тепло первому через граничный слой смоченной поверхности. Одновременно с процессом теплопередачи происходит расширение нагретого воздуха и сжатие охлаждаемого воздуха под действием газодинамических сил. В последующих ступенях процесс теплопередачи происходит аналогично.

Очевидно, что количество ступеней традиционной установки ограничено вязкостью и толщиной теплоносителя на граничном слое, при увеличении количества ступеней охлаждения увеличится аэродинамическое сопротивление проточной части, что приведёт к необходимости увеличения производительности нагнетателя, что вероятнее всего приведёт к сдуванию теплоносителя и к невозможности реализации теплообмена. Однако теоретически возможно использование более вязких теплоносителей. Так, к примеру, использование ртути, удерживаемой магнитным полем на граничном слое, позволит увеличить количество ступеней и использовать более мощный нагнетатель.

Модернизация традиционных конденсаторов систем кондиционирования М-циклом позволит существенным образом увеличить теплообмен между поверхностью охлаждения и окружающей средой. Разработка типовой поверхности теплообмена конденсатора на основе М-цикла позволит в значительной степени уменьшить себестоимость парокомпрессионной установки, что приведёт к подъёму спроса на рынке бытовых приборов.

*Библиографический список*

1. International Journal of Refrigeration. 2011. Vol. 34. Issue 4.
2. International Journal of Advance Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 01. Issue 01. P. 15-20.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ**

*Ташикангузова А.А. Запарнюк М.Н., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
kartavzw@mail.ru*

Энергия конвертерных газов в отечественной металлургии в большей степени теряется. Для предприятия с объемом производства 10 млн т конверторной стали потери составят 218 430 т. у.т. в год. [1]

Теплоту конвертерных газов можно использовать на обжиг известняка [2, 3] с получением значительного энергосберегающего эффекта.

Требуемый расход извести при кислородно-конвертерном процессе составляет около 80-85 кг на тонну стали. Эту известь получают обжигом известняка природным газом, и выпускается она из обжиговой печи при температуре порядка 1250 °С. Всё это тепло теряется при транспортировке и при хранении готовой извести в бункерах.

Расчетами установлено следующее. Физическое тепло конвертерных газов составляет 151 680 кДж/т стали, тогда как для обжига необходимого количества извести требуется 123 000 кДж/т стали. Таким образом, только физической теплоты конвертерного газа, без учета химической энергии, хватает для обжига известняка. Также наблюдается существенная экономия природного газа, которым в настоящее время обжигается известняк на известково-доломитовом заводе для нужд конвертерного производства.

Кроме того, подача горячей извести в конвертер изменяет соотношение долей чугуна и лома с 75/25 % на 65/35 %. Таким образом, для 370 т конвертера экономия жидкого чугуна может составить до 37000 кг. Это значит, что экономия 37000 кг чугуна на плавку при его энергоемкости 832,5 кг у. т./т составит 30802,5 кг у. т.

Возможный экономический эффект, принимая стоимость тонны условного топлива в 40 USD, составит 1232,1 USD на одну плавку. В год таким образом можно сэкономить до 33 млн USD (при годовом производстве стали порядка 10 млн т).

#### *Библиографический список*

1. Устимов К.В., Елесин М.В., Осколков С.В., Агапитов Е.Б. Адаптация методики определения основных параметров паровых аккумуляторов для котлов типа ОКГ // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России. Магнитогорск: МГТУ, 2011. С. 125.
2. Медведев Ю.Б., Картацев С.В. Энергетические возможности применения нагретой извести в кислородно-конвертерном процессе. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. С. 163-165.
3. Горемыкина П.Г., Махмутов А.А., Ташкангузова А.А. Оценка энергосберегающих эффектов от использования конвертерных газов при производстве извести // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов... Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 65-66.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДВИЖНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Усков И.А., Буславьев А.С., Васнин Н.А., Гоман В.В., Федореев С.А.  
Нижнетагильский технологический институт УрФУ  
Vvg.electro@gmail.com*

В системах электроснабжения подвижные контактные соединения занимают весомое место по распространению. Часто это разрывные контакты, которые обеспечивают управляемое периодическое замыкание и размыкание электрических цепей в течение длительного времени (реле, пускатели, электромеханические преобразователи, прерыватели, выключатели, рубильники). Такие условия работы вызывают в них сваривание контактов, эрозию, коррозию, механический износ, что приводит их к разрушению [1].

Данные явления приводят к увеличению потерь в контактных соединениях из-за роста переходного сопротивления, а также к росту затрат, обусловленных аварийным выходом соединений из строя.

Преодолеть указанные проблемы, снизить потери и повысить надежность позволит применение металлопокрытий на основе легкоплавких металлов.

Для получения защитного металлопокрытия на токопередающих поверхностях контактов использован процесс локального контактного твердо-жидкого плавления, при котором взаимодействие твердого металла с жидким происходит ниже температуры автономного плавления твердого металла [2]. В самом общем виде процесс состоит из двух стадий: локальное плавление твердого металла после смачивания его с жидким поверхностно активным сплавом заданного состава (бездиффузионная стадия), а затем диффузионное перемешивание атомов твердого металла из расплавленного объема и жидкой фазы нанесенного сплава (диффузионная стадия) [2]. После затвердевания на контактной поверхности образуется слой металлопокрытия, которое представляет собой новое вещество (твердый раствор двух металлов), отличающееся по своим физическим и химическим свойствам как от материала контакт-детали, так и от нанесенного на ее поверхность легкоплавкого сплава [2].

В настоящее время проводятся исследования, целью которых является подтверждение следующих характеристик:

в режиме замыкания:

- снижение вибрации;
- повышение ресурса (уменьшение механического износа);

в режиме замкнутого состояния:

- низкое падение напряжения;
- низкое переходное сопротивление;
- стабильность величины переходного сопротивления;
- отсутствие сваривания контакт-деталей;

в режиме размыкания:

- дугостойкость;
- повышение ресурса (уменьшение механического износа).

Основные характеристики и достоинства предлагаемого способа [2]:

1. Металлопокрытия могут быть получены на контактных поверхностях всех материалов, применяемых для изготовления контактов (сталь, медь, алюминий и сплавы на их основе).

2. Металлопокрытия позволяют стабилизировать на уровне первоначальной сборки величину переходного электрического сопротивления контактных устройств всех типов в течение всего срока их эксплуатации.

3. Снижение переходного электрического сопротивления контактного соединения с металлопокрытием в зависимости от материала контакт-деталей составляет: алюминий-алюминий (Al-Al) – до 5 раз; алюминий-медь (Al-Cu) – до 3 раз; медь-медь (Cu-Cu) – до 1,5-2 раз.

4. Металлопокрытия могут работать в агрессивных средах как внутри помещений, так и на открытом воздухе при температуре от -40 °С до + 500 °С.

5. Способ получения металлопокрытий не опасен для здоровья человека, а применяемые для этого легкоплавкие сплавы химически не активны, не содержат токсичных и драгоценных металлов.

6. Работа выполняется при температуре нагрева контактной поверхности не выше 100 °С и не требует использования какого-либо специального оборудования.

7. Применяемые сплавы позволяют повысить стойкость к износу рабочих поверхностей контакт-деталей в подвижных контактных соединениях, за счет снижения коэффициента трения.

Результаты испытаний описываемой разработки на одной из трансформаторных подстанций электросетевого комплекса Свердловской области приведены далее.

На контактные поверхности рубильника вводной секции 0,4 кВ и неподвижные контакты в местах присоединения кабельных наконечников фидера № 2 было нанесено специальное защитное металлопокрытие на основе легкоплавких металлов. Были зафиксированы следующие результаты, полученные с помощью микроомметра 6237 DRLO (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Подвижные контакты рубильника

| Поз. | Рпер, мкОм<br>до нанесения<br>металлопокрытия | Рпер, мкОм<br>после нанесения<br>металлопокрытия | Примечание        |
|------|---|--|-------------------|
| 1    | 400   | 52   | Фаза А, медь-медь |
| 2    | 1200  | 39   | Фаза А, медь-медь |
| 3    | 400   | 116  | Фаза В, медь-медь |
| 4    | 910   | 175  | Фаза В, медь-медь |
| 5    | 242   | Не наносилось                                    | Фаза С, медь-медь |
| 6    | 640   | Не наносилось                                    | Фаза С, медь-медь |

Таблица 2

Неподвижные контакты

| Поз. | Рпер, мкОм<br>до нанесения<br>металлопокрытия | Рпер, мкОм<br>после нанесения<br>металлопокрытия | Примечание            |
|------|---|--|-----------------------|
| 1    | 91  | Не наносилось                                    | Фаза А, алюминий-медь |
| 2    | 27  | 8  | Фаза В, алюминий-медь |
| 3    | 63  | 8  | Фаза С, алюминий-медь |

Конечным продуктом данной разработки является технология нанесения металлопокрытия, предполагающая обучение персонала заказчика, передачу технологической документации и дальнейшую поставку готового металлосплава.

#### *Библиографический список*

1. Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект Групп», 2008. 560 с.
2. Перельштейн Г.Н., Сарапулов Ф.Н. Способ повышения надежности и экономичности работы разборных контактных соединений электротехнического оборудования // Электротехнический рынок. 2007. Декабрь. № 12 (18).

# **СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДВИЖНЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Усков И.А., Гоман В.В., Федореев С.А.  
УрФУ*

Работа электрических сетей и электротехнического оборудования во многом зависит от надежности и экономичности многочисленных подвижных размыкаемых контактных соединений между отдельными участками электрической цепи (в таких устройствах как выключатели, рубильники, разъединители, токосъемники и т.п.). Переходное электрическое сопротивление в этих устройствах является причиной значительных потерь электроэнергии, недопустимого перегрева контакт-деталей, а его тенденция к росту в процессе эксплуатации приводит к нестабильности электрических параметров и необходимости частых отключений для ремонта и ревизии контактных соединений, то есть к снижению их надежности и увеличению стоимости эксплуатационных расходов. Также от размыкаемых контактов требуется выдерживать определенное число операций включения и отключения без существенного увеличения переходного сопротивления, с учетом влияния как механических факторов (износ за счет трения), так и электрических факторов (стойкость к воздействию дуги).

Таким образом, целью работы является улучшение эксплуатационных характеристик путем снижения переходного сопротивления подвижных размыкаемых контактных соединений и уменьшения их износа, что повлечет за собой снижение потерь электроэнергии, увеличение срока службы соединений, т.е. существенное снижение эксплуатационных затрат. Достижение указанной цели обеспечивается нанесением на рабочие поверхности контакт-деталей защитного металлопокрытия определенного состава.

Основные характеристики проекта:

8. Металлопокрытия могут быть получены на контактных поверхностях всех материалов, применяемых для изготовления контактов (сталь, медь, алюминий и сплавы на их основе).

9. Металлопокрытия позволяют стабилизировать на уровне первоначальной сборки величину переходного электрического сопротивления контактных устройств всех типов в течение всего срока их эксплуатации.

10. Снижение переходного электрического сопротивления контактного соединения с металлопокрытием в зависимости от материала контакт-деталей составляет: алюминий-алюминий – 10-15 раз; алюминий-медь – 3-7 раз; медь-медь – 1,4-2 раза.

11. Металлопокрытия могут работать в агрессивных средах как внутри помещений, так и на открытом воздухе при температуре от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+500^{\circ}\text{C}$ .

12. Способ получения металлопокрытий не опасен для здоровья человека, а применяемые для этого легкоплавкие сплавы химически не активны, не содержат токсичных и драгоценных металлов.



13. Работа выполняется при температуре нагрева контактной поверхности не выше 100 °С и не требует использования какого-либо специального оборудования.

14. Применяемые сплавы позволяют повысить стойкость к износу рабочих поверхностей контакт-деталей в подвижных контактных соединениях, за счет снижения коэффициента трения.

Для получения защитного металлопокрытия на токопередающих поверхностях контактов использован процесс локального контактного твердо-жидкого плавления, при котором взаимодействие твердого металла с жидким происходит ниже температуры автономного плавления твердого металла. В самом общем виде процесс состоит из двух стадий: локальное плавление твердого металла после смачивания его с жидким поверхностно активным сплавом заданного состава (бездиффузионная стадия), а затем диффузионное перемешивание атомов твердого металла из расплавленного объема и жидкой фазы нанесенного сплава (диффузионная стадия). После затвердевания на контактной поверхности образуется слой металлопокрытия, которое представляет собой новое вещество (твердый раствор двух металлов), отличающееся по своим физическим и химическим свойствам как от материала контакт-детали, так и от нанесенного на ее поверхность легкоплавкого сплава.

Ключевым элементом новизны является то, что в отличие от известных разработок УрО РАН и УрФУ в области неподвижных контактных соединений, в которых использовались галлиевые сплавы, для применения в подвижных контактах электротехнического оборудования предложены сплавы на базе висмута и индия. Их нанесение на рабочие поверхности контакт-деталей происходит при несколько большей температуре (40-90 °С), однако, известные свойства индия (низкий коэффициент трения, коррозионная стойкость, смачиваемость) обеспечивают значительное улучшение механической стойкости к износу контактного соединения. При этом значительный эффект снижения переходного сопротивления также присутствует, как и при применении галлиевых поверхностно-активных сплавов.

Главное преимущество данного способа по сравнению с традиционными лужением и серебрением контактов состоит в том, что он может применяться не только в условиях стационарного производства, но и в реальных условиях работы действующего электротехнического оборудования на различных объектах электроэнергетики, так как нанесение оловянистых и серебряных металлопокрытий, представляющих собой наплавки одного металла на другой толщиной до 0,5 мм, связано либо с нагревом контакт-детали до температуры 320-400 °С (лужение), либо с необходимостью использования специального оборудования (гальваника, электроискровое или плазменное напыление), что исключает возможность их применения в условиях эксплуатации на действующем электрооборудовании.

Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейших исследований в данном направлении и разработки испытательной лабораторной установки.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В СИСТЕМЕ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПАРА В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК»

Устимов К.В., Агапитов Е.Б.

Магнитогорский государственный технический университет  
ustimov.konstantin@gmail.com

Система утилизации низкопотенциального пара на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» состоит из источника пара (котлы-охладители конвертерных газов типа ОКГ-400-2М) и редукционно-аккумуляторной установки, после которой пар поступает в общую сеть.

Редукционно-аккумуляторная установка предназначена для равномерной подачи потребителям пара требуемых параметров и включает в себя аккумуляторы пара, редукционные и редукционно-охладительные установки. Аккумуляторы пара предназначены для отбора избытков пара, поступающего от котлов ОКГ-400-2М в период кислородной продувки конвертеров при максимальной производительности и выдачи аккумулярованного пара потребителям в периоды между кислородными продувками (при отсутствии выработки пара ОКГ). Редукционная установка РУ 4/1,6 предназначена для снижения давления пара, поступающего от котлов ОКГ ККЦ и аккумуляторов пара до 1,6 МПа.

Была проведена оценка эффективности работы паровых аккумуляторов как элемента системы утилизации низкопотенциального пара (рисунок). Анализ показал, что около половины всего вырабатываемого пара сбрасывается на свечи (рисунок, линия 3).



Результаты анализа  
существующей системы  
утилизации пара котлов ОКГ:  
1 — выработка пара котлами  
ОКГ; 2 — расход утилизирован-  
ного пара; 3 — сбросы пара  
на свечи

Причиной столь низкой эффективности работы системы являются внесенные в ходе эксплуатации изменения в обвязку пароаккумуляторов. Зарядная и разрядная линии аккумуляторов оказались связаны друг с другом перемычкой, из-за чего пар не поступает на зарядку. Сами процессы зарядки/разрядки пароаккумуляторов проходят бесконтрольно из-за неисправности систем автоматического управления.

Кроме этого, опасаясь недопустимого повышения давления в паропроводах и барабанах котлов ОКГ, сбросные свечи настроены на открытие при 2,6 МПа, притом, что все элементы системы рассчитаны на давление 3,7 МПа и выше.

Выявив недостатки существующей системы утилизации пара, в дальнейшем планируется проведение промышленного эксперимента. Будет повышена настройка открытия сбросных свечей (поэтапно, до значения, не угрожающего стабильной работе оборудования), проведена ревизия регулирующих органов одного парового аккумулятора с дальнейшей оценкой эффективности его рабо-

ты, внесены необходимые изменения в схему утилизации пара. Все эти шаги приведут к снижению энергоэкономических потерь, а также позволят снизить величину сбросов пара в атмосферу.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА НА КИНЕТИКУ ДЕГРАДАЦИИ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ LSM–YSZ

Фарленков А.С.<sup>1,2</sup>, Ананьев М.В.<sup>1,2</sup>, Антонова Е.П.<sup>2</sup>,  
Еремин В.А.<sup>2</sup>, Поротникова Н.М.<sup>2</sup>, Курумчин Э.Х.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> УрФУ, <sup>2</sup> Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,  
a.farlenkov@yandex.ru

### *Введение*

Одним из важнейших и перспективных направлений развития мировой энергетики и энергосбережения является создание и изучение твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). Они относятся к классу химических источников тока, в которых без каких-либо механических устройств химическая энергия реагентов (топлива и окислителя) электрохимическим способом преобразуется в электрическую. В роли окислителя обычно выступает кислород из воздуха, в роли топлива – водород. ТОТЭ сохраняет способность генерировать электроэнергию все время, пока в него извне поступают реагенты, и отводятся продукты их взаимодействия. Существенное преимущество ТОТЭ – это отсутствие вредных выбросов (продукт реакции – вода) и бесшумность работы при их функционировании. Существует ряд проблем, препятствующих коммерческому внедрению этих устройств, одной из которых является их недостаточный ресурс работы. Для успешной эксплуатации в промышленных масштабах необходима стабильность компонентов и параметров ТОТЭ на протяжении как минимум 20-40 тыс. часов в рабочих условиях [1]. Дegradация функциональных свойств электролита и электродов (ухудшение свойств материала во времени) – одна из основных причин падения характеристик ТОТЭ во времени.

В настоящее время детально не изучен процесс укрупнения частиц катода LSM–YSZ, как один из процессов деградации, проявляющий себя во время длительных испытаний при отсутствии влияния процессов, приводящих к образованию диэлектрических фаз. Процесс огрубления микроструктуры можно количественно охарактеризовать с помощью ряда параметров, таких как пористость, функции распределения размеров фаз и пор, входящих в состав исследуемого материала, протяженность трехфазной границы, площади контакта зерен, фактор извилистости и т. д. Эволюция микроструктуры во времени приводит к изменению физико-химических свойств функциональных материалов. Данная работа посвящена поиску корреляций между параметрами микроструктуры и поляризационным сопротивлением катодных материалов LSM–YSZ как при использовании электроактивирующей добавки, так и без нее.

### *Экспериментальная часть*

В качестве объекта исследования выбраны образцы симметричных ячеек LSM–YSZ | YSZ | LSM–YSZ производства Riso (DTU, Датский технический университет), рис. 1. Длительную выдержку симметричных ячеек проводили при  $T = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{O}_2} = 10^{-2}$  атм. Для исследования использовали по два образца

симметричных ячеек. Первую партию симметричных ячеек испытывали в течение 300 часов, вторую – в течение 700 часов.

Для увеличения электрохимической активности электродов в их пористую структуру вводили мелкодисперсный оксид празеодима, рис. 2.

Поляризационное сопротивление измеряли методом импедансной спектроскопии с использованием измерительного комплекса, состоящего из анализатора частотного отклика FRA-1260 и электрохимического интерфейса EI-1287 (Solartron Instruments Inc.).

Для получения микрофотографий поперечных сечений образцов исследуемых симметричных ячеек готовили шлифы на шлифовально-полировальном станке Allied (США), с использованием алмазных суспензий. Предварительно образец под вакуумом заливали в эпоксидную смолу для сохранения пористой структуры. Съемку микрофотографий проводили методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на растровом электронном микроскопе MIRA 3 LMU (TESCAN, Чехия) в излучении вторичных и обратно рассеянных электронов. Анализ микрофотографий проводили с помощью оригинального программного обеспечения. Более подробно алгоритм сегментации приведен в работах [2].

#### *Результаты и обсуждение*

На рис. 3 приведена зависимость поляризационного сопротивления от времени, из которой видно, что при использовании электроактиватора поляризационное сопротивление катодного материала LSM–YSZ оказывается значительно ниже, чем без его использования. Данную зависимость можно объяснить отличием в механизме деградации катодных материалов. Без использования активатора происходит процесс огрубления фазы LSM. Это подтверждается уменьшением фактора извилистости этой фазы, рис. 4, что приводит к уменьшению поляризационного сопротивления. Процесс огрубления фазы сопровождается уменьшением ее свободной поверхностной энергии. При этом микроструктура фазы YSZ в составе композиционного материала за проведенное время испытаний практически не изменилась.

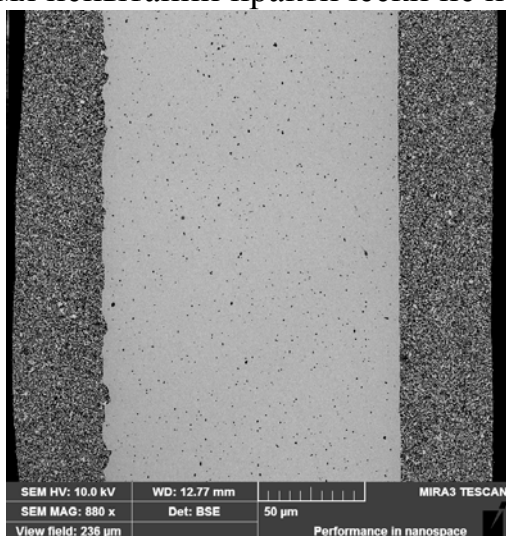


Рис. 1. Микрофотография сечения LSM–YSZ | YSZ | LSM–YSZ, толщина электролита  $135 \pm 5$  мкм, электрода –  $48 \pm 5$  мкм

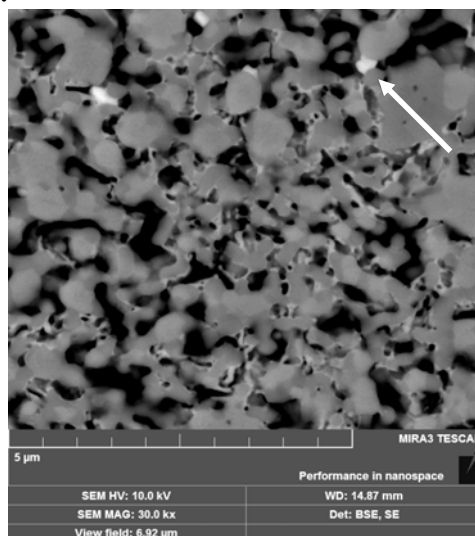


Рис. 2. Микрофотография сечения LSM–YSZ | YSZ | LSM–YSZ с активатором после 1000 часов испытаний,  $T = 850$  °C,  $P_{O_2} = 10^{-2}$  атм

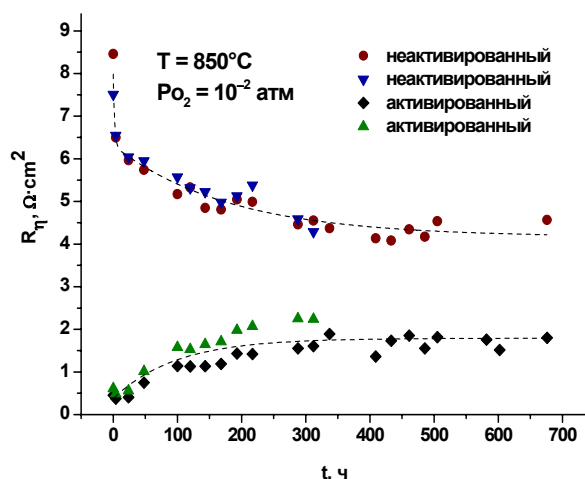


Рис. 3. Зависимость поляризационного сопротивления от времени испытаний,  $T = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{O_2} = 10^{-2}$  атм

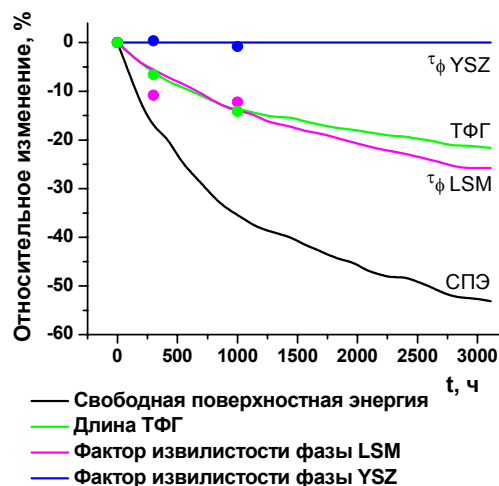


Рис. 4. Зависимость относительного изменения длины ТФГ, свободной поверхностной энергии, факторов извилистости фаз LSM и YSZ от времени,  $T = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{O_2} = 10^{-2}$  атм

В случае с активатором, кинетика деградации, по-видимому, определяется деградацией микроструктуры самой активирующей добавки. Происходит процесс перекристаллизации оксида празеодима с образованием сравнительно более крупных частиц (показано стрелкой на рис. 2). Укрупнение частиц приводит к уменьшению протяженности трехфазной границы (ТФГ) – активной зоны электрохимической реакции. На фоне данного процесса влияние огрубления фазы LSM на поляризационное сопротивление активированных ячеек обнаружить не удалось. Возможно, это влияние проявится при более длительных временах испытания.

#### Библиографический список

1. Ni M., Zhao T. Solid Oxide Fuel Cells: From Materials to System Modeling // The Royal Society of Chemistry. 2013. P. 510.
2. Ananyev M., Gavriluk A., Bronin D., Steinberger-Wilckens R., Mertens J. SOFC degradation quantification using image analysis // Proceedings of 15th European Fuel Cell Forum. 2011. P. 21–34.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Федотова А.М., Горелов М.В.

Московский энергетический институт, gorelov\_mikhail@mail.ru

Основным видом применяемых в России утеплителей являются минераловатные изделия, доля которых в общем объеме производства и потребления составляет более 65 %, около 8 % приходится на стекловатные материалы, 20 % – на пенополистирол и другие пенопласты, доля теплоизоляционных ячеистых бетонов не превышает 3 %, вспученного перлита, вермикулита и изделия на их основе – 2...3 % (по вспученному продукту).

Все большую популярность на современном этапе развития рынка утеплителей приобретает жидкая тепловая изоляция. Производители данного вида теплоизоляции отмечают следующие преимущества:

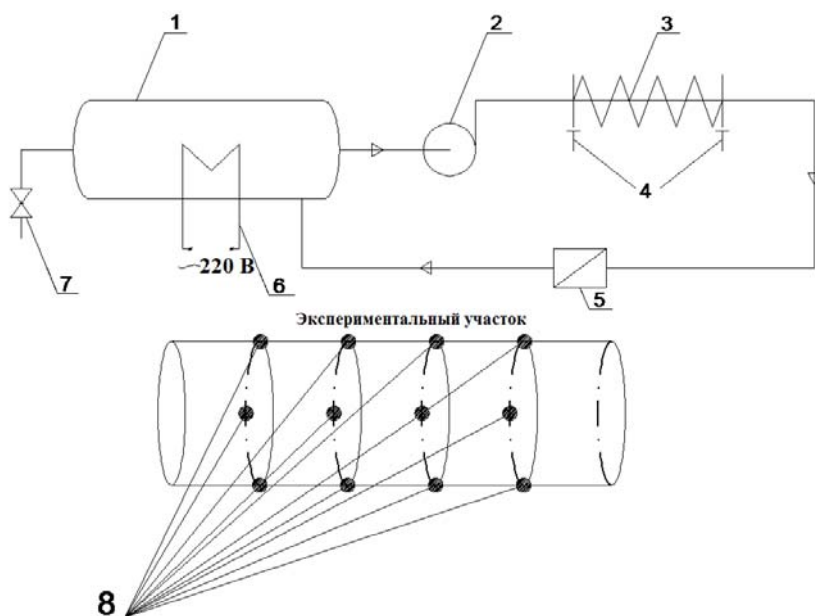
- термоизоляция – 1 мм покрытия соответствует 50 мм минераловатной плиты;
- высокие антикоррозионные свойства;
- возможность покрытия в труднодоступных местах или сложных поверхностях (колесо труб, сферические емкости и т.п.);
- гарантийный срок покрытия — от 15 лет;
- возможность использования жидкой теплоизоляции в качестве финишного фасадного покрытия (возможна колеровка);
- не уменьшает пространства помещения;
- всесезонность выполнения работ, скорость и простота выполнения работ.

Цель настоящей работы – определение действительных значений коэффициента теплопроводности жидкой и других видов тепловой изоляции, сравнение полученных значений.

Для этого было взято два идентичных участка трубы из углеродистой стали длиной 682 мм и наружным диаметром 155 мм. Толщина стенки была измерена толщиномером и составила 1,5 мм.

На участок трубы, имитирующий трубопровод, были нанесены различные теплоизоляционные покрытия: минеральная вата, вспененный каучук, жидкая теплоизоляция. Также был проведен эксперимент с неизолированным участком.

На рисунке представлена принципиальная схема экспериментальной установки.



Принципиальная схема экспериментальной установки

- 1 – расширительный бак,  
2 – центробежный насос,  
3 – экспериментальный участок трубопровода,  
4 – подвижные опоры трубопровода, 5 – водомер,  
6 – электронагреватель,  
7 – спускной кран,  
8 – датчики температуры

Для нагрева и прокачки воды использовался термостат марки *Thermo NESLAB RTE 10*,

который представляет собой емкость для заполнения водой (бассейн), встроенный нагреватель воды, встроенный циркуляционный насос, 2 патрубка для подсоединения к контуру циркуляции воды, а также информационный дисплей,

показывающий температуру воды в бассейне. Для моделирования условий эксплуатации прокачивалась вода, нагретая до 85 °С.

Для измерения температуры на поверхности изолированного и неизолированного трубопроводов использовался контактный метод. Измерения проводились с помощью прибора ИТП-МГ4.03 «Поток» (3 шт.). Суммарное количество датчиков температуры, использовавшихся для контроля измеряемой величины – 12 шт. для измерений на неизолированной трубе и 18 шт. для измерений на изолированных трубопроводах. Помимо температуры на поверхности изолированного и неизолированного трубопроводов, во время эксперимента также измерялась температура окружающей среды с помощью 2-х канального логгера данных температуры и влажности «Testo 175 H1». При наличии тепловой изоляции измерения проводились на поверхности изоляции и под изоляцией. Измерения проводились в стационарном режиме.

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментального определения температуры

| Тип изоляции            | Средняя температура на поверхности изоляции, °С | Средняя температура на поверхности трубы под изоляцией, °С | Средняя температура окружающей среды, °С |
|-------------------------|---|--|--|
| 1. Без изоляции         | -   | 78,21  | 19,47                                    |
| 2. Вспененный каучук    | 32,55   | 79,39  | 19,71                                    |
| 3. Минеральная вата     | 27,25   | 81,87  | 19,87                                    |
| 4. Жидкая теплоизоляция | 73,85   | 79,05  | 20,72                                    |

Расчет коэффициента теплопроводности проводился на основе полученных результатов. За основу было взято предположение, что тепловой поток с поверхности изолированной трубы равен тепловому потоку, проходящему через слой тепловой изоляции. Плотность теплового потока с поверхности трубы рассчитывался по зависимости

$$q = \alpha_{\Sigma} \cdot (t_{из} - t_0), \quad (1)$$

где  $\alpha_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{из}$  – средняя температура на поверхности изоляции, °С;  $t_0$  – средняя температура окружающей среды, °С.

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{л} + \alpha_{к}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{л}$  – радиационный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_{к}$  – конвективный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Найдя тепловой поток по формуле (1), возможно определить коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала

$$\lambda_{из} = \frac{q \cdot \delta}{t_{тр} - t_{из}} \quad (3)$$

где  $t_{тр}$  – средняя температура на поверхности трубы под изоляцией, °С;  $\delta$  – толщина слоя изоляции, м.

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов значений коэффициента теплопроводности различных теплоизоляционных материалов

| Тип теплоизоляции    | Экспериментальное значение коэффициента теплопроводности, Вт/(м·К) | Значение коэффициента теплопроводности по данным производителя, Вт/(м·К) |
|----------------------|--|--|
| Вспененный каучук    | 0,047  | 0,039  |
| Минеральная вата     | 0,046  | 0,040  |
| Жидкая теплоизоляция | 0,08   | 0,0012   |

На основании представленных данных можно сделать вывод о том, что экспериментальные значения коэффициентов теплопроводности вспененного каучука и минеральной ваты отличаются от значений, заявленных производителями, не более чем в 1,21 раза. Отличие реального значения коэффициента теплопроводности жидкой теплоизоляции от значения, заявленного производителем, достигает 66,67 раз.

Причиной этого может быть:

- нарушение технологии нанесения жидкой тепловой изоляции;
- ошибочно заявленное производителем значение коэффициента теплоотдачи;
- контрафактная продукция.

С целью подтверждения или опровержения полученных данных необходимо провести серию дополнительных экспериментов на образцах разной геометрии и протяженности.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ БЕДНЫХ ГАЗОВ

Филиппов П.С., Абаимов Н.А., Буян Б.  
УрФУ, [tes.urfu@mail.ru](mailto:tes.urfu@mail.ru)

Камера сгорания для сжигания бедных газов имеет свои особенности конструкции и установки в общую систему ГТУ достигнутых параметров. Для того чтобы компенсировать низкое значение теплоты сгорания бедных газов, система подачи топлива должна обеспечивать гораздо больший расход, чем система топливоподачи газа с высокой теплотой сгорания. По причине большого массового расхода газа с низкой теплотой сгорания, выходное сечение для топлива должно иметь большее поперечное сечение, чем при использовании природного газа. При этом необходимо поддерживать равномерное распределение температуры в камере сгорания и избегать локальных перегревов во избежание больших выбросов  $\text{NO}_x$  [1].

В качестве исходных данных использовались результаты, полученные в диссертациях Никулиной А.Ю. [2] и Абатуровой О.С. [3]. На основе данных



работ была смоделирована камера сгорания для сжигания бедных газов. Тип камеры – кольцевая, компоновка труба в трубе (рис. 1).

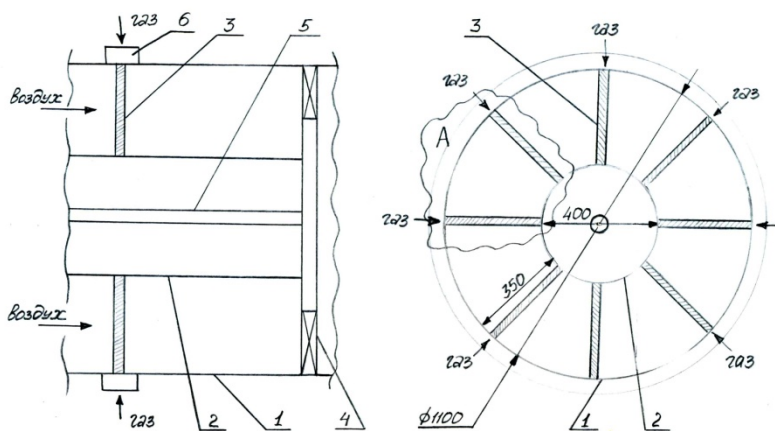


Рис. 1. Кольцевая камера сгорания [2]

Конструктивные размеры камеры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Конструктивные размеры камеры сгорания [3]

| Камера сгорания |                     | Раздающий коллектор |                            |   |
|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------------|---|
| Длина, м        | Наружный диаметр, м | Количество каналов  | Количество рядов отверстий | Диаметры отверстий с одной стороны канала (сверху вниз), мм |
| 2               | 2                   | 18                  | 9                          | 5; 5,4; 5,8; 6,1; 6,6; 7,1; 7,6; 8,1; 8,6                   |

Для математического моделирования был выбран CFD-пакет ANSYS CFX, так как он позволяет произвести расчеты и анализ гидрогазодинамических процессов, многофазных потоков, химической кинетики, горения и радиационного теплообмена и т.д. Процедура типового расчета может быть разделена на три основных этапа:

- создание геометрической модели;
- генерация сетки;
- расчет и анализ результатов.

Во время работы был смоделирован процесс подачи через ряд отверстий и дальнейшего сгорания газового топлива (с теплотой сгорания 6,435 МДж/кг) в высокотемпературном 800 °С окислителе (воздух). Состав газа в % (масс.): CO<sub>2</sub>=2,3 %; CO=46 %; H<sub>2</sub>=1,4 %; CH<sub>4</sub>=0,3%; N<sub>2</sub>=50 %.

Сетка модели, имеющая 673826 элементов, была апробирована в последующих вариантах с оптимизированными конструктивными размерами.

По результатам численного моделирования видно (рис. 2), что распределение температуры в продольном сечении камеры сгорания происходит неравномерно и наблюдается сильное увеличение температуры в нижней части камеры.

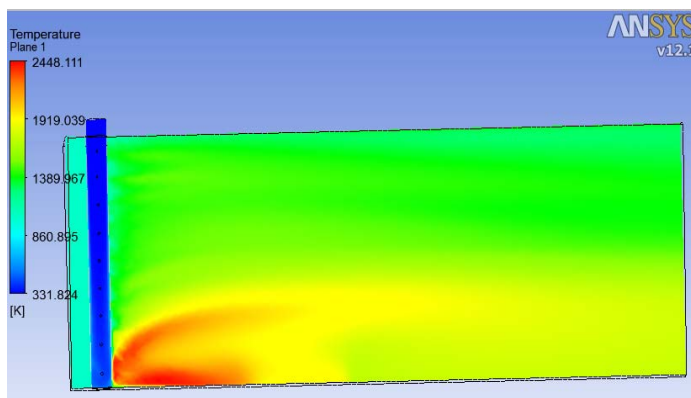


Рис. 2. Распределение температуры в продольном сечении камеры в исходном варианте (табл. 1)

Были приняты попытки по решению этой проблемы путем эмпирического подбора других размеров конструкции камеры, а точнее изменением диаметров отверстий (табл. 2).

Таблица 2

Варианты оптимизированных конструктивных размеров камеры сгорания

| Поз. | Камера сгорания |                     | Раздающий коллектор |                            |   |
|------|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------------|---|
|      | Длина, м        | Наружный диаметр, м | Количество каналов  | Количество рядов отверстий | Диаметры отверстий с одной стороны канала (сверху вниз), мм |
| 1    | 2               | 2                   | 18                  | 9                          | 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7                                   |
| 2    | 2               | 2                   | 18                  | 9                          | 8,6; 8,1; 7,6; 7,1; 6,6; 6,1; 5,8; 5,4; 5                   |
| 3    | 2               | 2                   | 18                  | 9                          | 8,6; 8,1; 7,6; 7,1; 7,1; 6,7; 5,2; 5,2; 5,2                 |

Таким методом удалось достичь более равномерного распределения температуры в продольном сечении камеры (рис. 3).

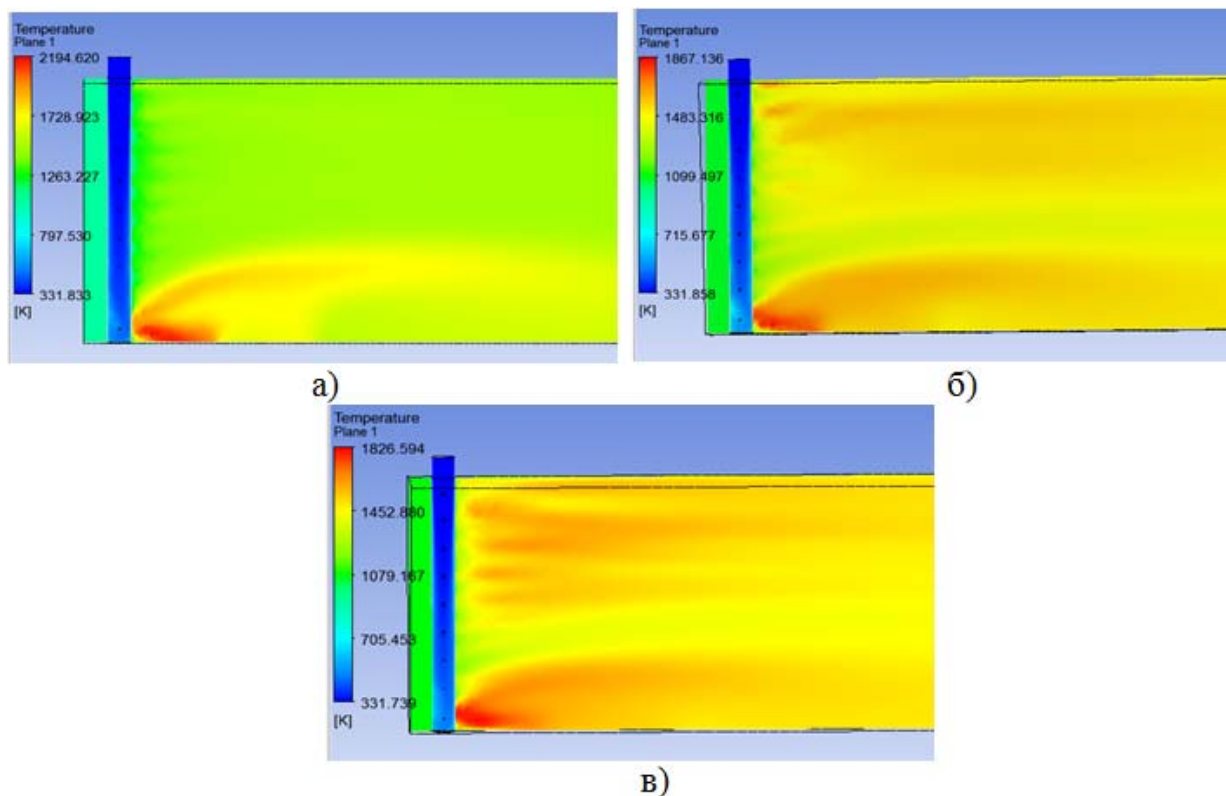


Рис. 3. Распределение температуры в продольном сечении камеры (из таблицы 2): а) – вариант № 1; б) – вариант № 2; в) – вариант № 3

Из рис. 3 видно, что вариант 1 мало отличается от исходного. В вариантах 2 и 3 за счет оптимизации диаметров отверстий температурное поле выравнивается и локальный перегрев уменьшается.

В дальнейшем планируется оптимизация конструктивных размеров камеры путем численных исследований и инженерных расчетов для определения требуемых расходов воздуха и газа.

#### *Библиографический список*

1. Сулимов Д.Д. Газотурбинные установки ОАО «Авиадвигатель» для работы на синтез-газе, полученном в результате газификации угля [Электронный ресурс]. URL: [http://avid.ru/upload/pages/5914/sbornik\\_154-158.pdf](http://avid.ru/upload/pages/5914/sbornik_154-158.pdf) (дата обращения: 29.11.13).
2. Никулина А.Ю. Камера сжигания бедных газов в высокотемпературном воздушном потоке: дисс. магистра техники и технологии 140100.68; УрФУ. Екатеринбург, 2012. 81 с.
3. Абатурова О. С. Моделирование камеры догрева циклового воздуха для гибридной ПГУ на твердом топливе мощностью 300 МВт: дисс. магистра техники и технологии: 140100.68; УрФУ. Екатеринбург, 2013. 76 с.

## **ТЕНДЕНЦИИ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

*Халевицкий Ю.В.  
УрФУ, [me@dijkstra.ru](mailto:me@dijkstra.ru)*

Суперкомпьютерные системы используются во многих областях науки и промышленности. Они широко применяются для моделирования различных физических и экономических процессов, прогнозирования погоды, а также в инженерных задачах.

В настоящее время большинство суперкомпьютеров имеют кластерную архитектуру. Кластер состоит из большого количества серверов, называемых также *узлами*. Сервера соединены высокопроизводительной локальной вычислительной сетью, предназначенной для организации взаимодействия в процессе вычислений [1]. В качестве узлов кластера могут выступать как традиционные сервера, подобные тем, что используются для поддержки веб-порталов, так и специальные системы, оснащённые вычислительными ускорителями и предназначенные для проведения интенсивных вычислений. Кластеры, содержащие процессоры одного типа, называют *гомогенными*. Кластеры, оснащённые различными процессорами, в том числе вычислительными ускорителями, принято называть *гетерогенными*.

Рассеиваемая мощность современного суперкомпьютера может достигать тысяч киловатт. Так, например, мощность суперкомпьютера Тяньхэ-2 составляет 17,8 МВт [2]. Затраты на электроэнергию, связанные с проведением вычислений, могут достигать значительных величин: при цене электроэнергии в 0,1002 долл. США за кВт·ч [3] содержание такой системы обошлось бы китайскому правительству в 15 млн долл. США в год, что в долгосрочном периоде сравнимо с ценой самой вычислительной системы, которая оценивается в 200-300 млн долл. США [4].

Высокая стоимость необходимой для вычислений электроэнергии – самая очевидная, однако, не единственная причина высокой актуальности повышения энергоэффективности в суперкомпьютерных технологиях. Построение кластер-

ной системы требует организации подачи электроэнергии и отведения тепла, выделяемого вычислительной техникой и коммуникационным оборудованием. Это накладывает ограничение на максимально возможное энергопотребление вычислительного центра и не позволяет неограниченно наращивать производительность простым увеличением количества вычислителей.

В большинстве систем для отвода тепла используется воздушная система охлаждения, однако, существуют решения, основанные на жидкостном отводе тепла от стоек. При этом количество отводимого тепла настолько велико, что жидкость может использоваться для обогрева помещений [5].

Производительность вычислительных систем принято измерять в количестве элементарных математических операций, производимых над числом с плавающей точкой, которые такая система может выполнить за одну секунду (FLOPS, FLoating point OPerations per Second). Для оценки энергоэффективности может использоваться производная величина, которая характеризует количество FLOPS, производимых системой в пересчёте на один ватт мощности, FLOPS/Вт.

Данные о производительности и энергоэффективности систем, задействованных в научных вычислениях, являются открытыми. На основе этих данных научное сообщество публикует списки наиболее производительных систем. Наиболее известный список, оценивающий производительность вычислительных систем на основе времени решения системы линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей, был впервые опубликован в 1993 г. и получил название TOP500 [2].

Начиная с 2007 г., производится также составление списка наиболее энергоэффективных систем, получившего название Green500 [6].

В таблице приводится информация о суперкомпьютерах, занявших первое место в списке Green500 за всё время его существования.

Характеристики наиболее энергоэффективных суперкомпьютеров по версии Green500

| Версия списка | Процессор, лежащий в основе лидера        | Разрешение литографического оборудования | Энергоэффективность, MFLOPS/Вт |
|---------------|---|--|--------------------------------|
| Осень 2007    | Blue Gene/P                               | 90 нм                                    | 357,23                         |
| Зима 2008     | Blue Gene/P                               | 90 нм                                    | 357,23                         |
| Лето 2008     | PowerXCell 8i                             | 65 нм                                    | 488,09                         |
| Лето 2009     | PowerXCell 8i                             | 65 нм                                    | 536,24                         |
| Осень 2009    | PowerXCell 8i                             | 65 нм                                    | 722,98                         |
| Лето 2010     | PowerXCell 8i                             | 65 нм                                    | 773,38                         |
| Осень 2010    | Blue Gene/Q                               | 45 нм                                    | 1684,20                        |
| Лето 2011     | Blue Gene/Q                               | 45 нм                                    | 2097,19                        |
| Осень 2011    | Blue Gene/Q                               | 45 нм                                    | 2026,48                        |
| Лето 2012     | Blue Gene/Q                               | 45 нм                                    | 2100,88                        |
| Осень 2012    | Intel Xeon E5-2670 + Intel Xeon Phi 5110P | 32 нм + 22 нм                            | 2499,44                        |
| Лето 2013     | Intel Xeon E5-2687W + NVIDIA K20          | 22 нм + 28 нм                            | 3208,83                        |
| Осень 2013    | Intel Xeon E5-2620v2 + NVIDIA K20x        | 22 нм + 28 нм                            | 4503,17                        |

До осени 2012 г. лидирующие позиции в списке занимали гомогенные кластеры, построенные на базе энергоэффективных процессоров архитектур PowerPC и Cell BE. Суперкомпьютеры, основанные на широко применяемых процессорах архитектуры x86, существенно отставали в энергоэффективности. Это объясняется как характеристиками самих процессоров, так и эффективной компоновкой вычислительных узлов, которая позволяет эргономично отводить тепло с поверхности микросхем.

Начиная с осени 2012 г., первое место в списке начали занимать гетерогенные кластеры, оснащённые вычислительными ускорителями, подключенные к основным процессорам по шине PCI-Express. Вычислительный сопроцессор Intel Xeon Phi технически имеет архитектуру x86, однако обладает широкими векторными регистрами, меньшим размером кэша, и большим количеством ядер. Ускорители Nvidia Tesla K20 построены на основе графических карт и оснащены потоковыми мультипроцессорами архитектуры GK110.

Рассеиваемая мощность процессоров естественным образом уменьшается с совершенствованием элементной базы: это объясняется снижением напряжения питания процессора. Следует отметить, что повышение энергоэффективности идёт быстрее, чем уменьшается разрешение техпроцесса; это вызвано качественными изменениями в архитектуре вычислительных систем. Несмотря на прекратившийся рост тактовой частоты работы процессоров, каждый из них обладает всё большим количеством ядер. Так процессоры Blue Gene/P оснащены четырьмя вычислительными ядрами, PowerXCell 8i — девятью, Blue Gene/Q — восемнадцатью ядрами. Ещё более высокий уровень параллелизма поддерживается ускорителями. Так, Intel Xeon Phi содержит 60 ядер. Nvidia Tesla K20 суммарно содержит 2688 потоковых процессоров.

Видно, что повышение плотности вычислительных элементов за счёт их упрощения, а также уменьшения объёма и упрощения кэшей позволяет добиться большей энергоэффективности.

#### *Библиографический список*

1. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А. Вычислительное дело и кластерные системы. М.: Изд-во МГУ, 2007. 150 с.
2. Список Top500. URL: <http://www.Top500.org>
3. Цены на электроэнергию в России и мире: сравнительный анализ / Институт проблем естественных монополий. URL: [http://ipem.ru/images/stories/Files/energy/tnk\\_bp\\_tceny.pdf](http://ipem.ru/images/stories/Files/energy/tnk_bp_tceny.pdf)
4. Enter the Dragon: The Chinese superputer set to win the Top500 crown. Full specs on the 17-megawatt 'Sky River' // The Register. Timothy Prickett Morgan. 10 June 2013.
5. Rich Miller. IBM's Hot-Water Supercomputer Goes Live // Data Center Knowledge, 5 July 2010.
6. Список Green500. URL: <http://www.green500.org/>

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ БЛОКОВ ТЭС ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

*Хихлов Д. Д., Худякова Г.И.  
УрФУ, hihlov.danil@gmail.com*

В настоящее время повышение эффективности в энергетической отрасли является одной из приоритетных задач. Решение вопросов энергосбережения на объектах генерации тепло- электроэнергии возможно за счет сокращения потерь. Одним из способов является использование теплонасосных установок (ТНУ). Предлагается использование ТНУ с использованием хладагентов для полезной утилизации низкопотенциальной теплоты циркуляционной воды конденсатора паровой турбины ТЭС для выработки тепловой энергии, которая может быть направлена тепловому потребителю.

Конденсационная электростанция (КЭС) – это станция, которая производит только электрическую энергию. Главным недостатком КЭС является низкий КПД. Только 35-40 % теплоты, полученной при сжигании топлива, идет на производство электроэнергии. Основные потери теплоты происходят в конденсационной установке (обычно 40-50 %). Также сильно увеличиваются затраты на собственные нужды, т.к. приходится перекачивать большие объемы охлаждающей воды. Так, для турбины  $N_3=300$  МВт требуется около  $36000 \text{ м}^3/\text{ч}$  охлаждающей воды. При этом охлаждающая вода нагревается только на  $8-12^\circ\text{C}$ , это делает невозможным ее использование в хозяйственных или промышленных целях.

Турбоустановка Т-110-130, разработанная ОАО «УТЗ» [1], предназначена для работы в теплофикационном и конденсационном режимах. Данные паровые турбины предназначены для вновь строящихся и расширяемых ТЭЦ больших и средних городов.

Поскольку первоначально для этих ТЭЦ не всегда точно известна тепловая нагрузка, или она не обеспечивается в первые годы эксплуатации турбины, то турбина Т-100 проектировалась с некоторой долей универсальности, т.е. она достаточно экономична как при работе с различными тепловыми нагрузками, так и на чисто конденсационных режимах. Турбина может работать на режимах теплового графика с охлаждением встроенных пучков конденсаторов как подпиточной, так и сетевой водой.

При работе в теплофикационном режиме (рис. 1) потери теплоты в окружающую среду минимальны, так как тепло пара частично отбирается из цилиндров турбины для подогрева сетевой (горячей) воды для потребителей. При работе же в конденсационном режиме, теплота отработавшего в турбине пара после охлаждения его в конденсаторе выбрасывается в окружающую среду, что обусловлено выдачей большего количества полезной мощности (электроэнергии).

В качестве примера была рассмотрена работа турбины Т-100-130, установленной с котлом ТГМ-96 на Среднеуральской ГРЭС и работающей в конденсационном режиме.

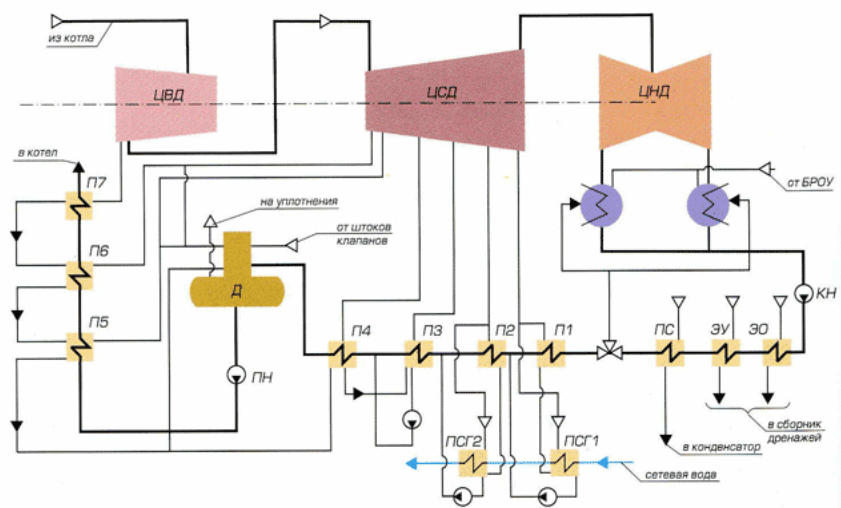


Рис 1. Принципиальная тепловая схема турбоустановки с паровой турбиной

Параметры турбины:

- $N_3=130$  МВт.
- $P_0=130$  кгс/см<sup>2</sup>.
- $t_0=555$  °С.
- $G_{охл}=16000$  м<sup>3</sup>/ч.
- $t_{охл}=20$  °С.
- $\Delta t=10$  °С.

Подведенная в цикле теплота составит:

$$Q_T = D_0 \cdot (I_0 - I_{пв}) = 485000 \cdot (837,5 - 237,5) = 291 \text{ Гкал/ч.}$$

Расчеты приведены в соответствии с нормативным методом расчета [2].

При этом в конденсаторе будет отдано 40 %, т.е.  $Q_k=116,4$  Гкал/ч.

Для сравнения: в микрорайоне Академический г. Екатеринбурга, по данным на сентябрь 2013 года, стоимость 1 Гкал составляет 1020 руб. Т.е. каждый час в конденсаторе одного блока ТЭС безвозвратно теряется теплоты на 118,7 тыс. руб.

Очевидно, что повышение доли используемой теплоты пара за турбиной приведет к сокращению потерь в окружающую среду и, как следствие, к повышению тепловой эффективности ТЭС в целом. Чтобы решить данную проблему, требуется использовать современное теплообменное оборудование. Однако для получения полезной тепловой энергии требуется исходное рабочее тело с высокими параметрами, как, например, пар из отборов турбины, который применяется для подогрева сетевой воды. Таким оборудованием может быть тепловой насос. Одним из способов использования этой теплоты является установка теплового насоса после турбины.

Тепловой насос – устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии к потребителю с более высокой температурой. В этом случае конденсатор будет являться испарителем – теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту, а конденсатором будет называться теплообменник, выделяющий для потребителя теплоту.



Главным достоинством тепловых насосов является то, что они очень экономичны: для передачи в систему отопления 1 кВт·ч тепловой энергии установке необходимо затратить всего 0,2-0,35 кВт·ч электроэнергии.

Тепловой насос разделен на две части (рис. 2): область низкого давления и область высокого давления. Теплоноситель (хладагент), движущий по замкнутому контуру, забирает тепло от источника (3) и направляется в компрессор (4), в котором он сжимается и за счет этого повышается его температура. Далее хладагент отдает тепло потребителю (1) и затем проходит через дроссельное устройство (2), где его давление снижается и он остывает.

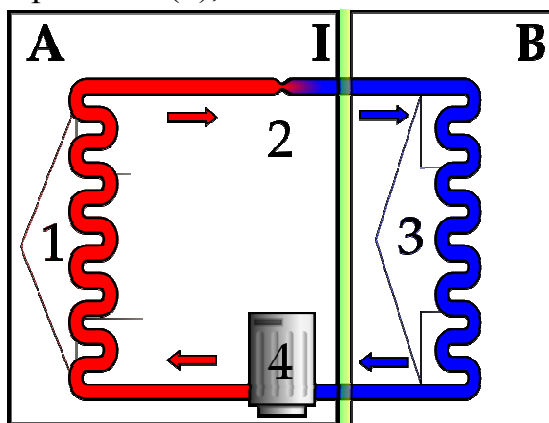


Рис. 3. Схема теплового насоса

Применение теплового насоса в схеме тепловой станции, работающей в конденсационном режиме, приведено на рис. 3. Как было сказано выше, рассмотрена возможность использования низкопотенциальной теплоты пара, отработавшего в турбине. Соответственно этот пар будет являться источником. Потребителем же в этом случае может быть, например, сетевая вода для нужд отопления и горячего водоснабжения.

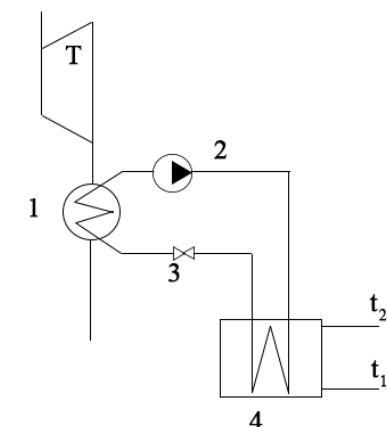


Рис. 4. Схема включения ТНУ в цикл ТЭС:

- 1 – испаритель; 2 – компрессор;  
3 – дроссельное устройство; 4 – конденсатор  
(подогреватель сетевой воды)

Преимущества теплового насоса перед конденсатором заключаются в следующем:

1. Тепловая энергия не выбрасывается в окружающую среду, а полезно используется
2. Температура хладагента не зависит

от температуры окружающей среды (в отличие от охлаждающей воды конденсационной установки)

3. Возможность уменьшения объема охлаждающей среды (в сравнение с охлаждающей водой) за счет большей удельной теплоемкости хладагента.

Из приведенных данных видно, что использование ТНУ в качестве утилизатора теплоты после турбины позволяет повысить эффективность цикла в целом, сократить потери в окружающую среду и получить полезную продукцию – тепловую энергию, выработка которой не предусмотрена в конденсационном цикле.

#### Библиографический список

1. [http://www.utz.ru/cgi-bin/catalog/viewpos.cgi?in\\_id=8&section=1](http://www.utz.ru/cgi-bin/catalog/viewpos.cgi?in_id=8&section=1)
2. Тепловой расчет котлов: нормативный метод. 3-е изд., доп. и перераб. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.



# **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕЗИДЕНТСКОЙ ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ» в 2012-2013 гг.**

*Худякова Г.И., Бунькова Е.А., Данилов Н.И., Силин В.Е.  
УрФУ*

## *Введение*

Уральский федеральный университет участвует в выполнении Президентской программы повышения квалификации инженерных кадров, реализуемой во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 594 «О Президентской программе повышения квалификации инженерных кадров на 2012-2014 годы». В 2013 году по России на федеральный конкурс было заявлено 295 программ от 81 образовательного учреждения. От УрФУ было заявлено 11 программ. Одобрение конкурсной комиссии при Министерстве образования и науки России получили 261 программа, 9 программ от УрФУ, в том числе – программа «Энергосбережение, повышение энергетической эффективности и ресурсосбережение в промышленности» (второй год подряд).

## *Особенности реализации и содержания программы*

Программа реализуется в модульном формате. Курс разделен на модули, три из которых носят теоретический характер, а один – наиболее длительный – практический. Теоретическая часть вариативна и зависит от запросов заказчиков.

Общение с представителями предприятий в 2012-2013 гг. позволило увидеть, что промышленность постепенно «созрела» к изменению подхода к повышению энергоэффективности производства: от простого устранения «технологических прорех» к следующему уровню: организации на предприятии системы энергетического менеджмента и ее сертификации согласно международным требованиям. Особенно в этом заинтересованы компании-участники международного сырьевого рынка. На это сделан упор в обучении 2013 года.

Практическая часть реализована на базе Полигона энергетической эффективности, организованного в Уральском федеральном университете в апреле 2012 года. На объектах Полигона отрабатываются вопросы:

- приборное энергетическое обследование действующей котельной (котельная УрФУ); тепловизионное обследование электрического оборудования, котлов, зданий (в отопительный период);
- настройка частотных преобразователей (лаборатория частотного привода УрФУ); обучение на базе специализированного класса кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок УралЭНИН;
- анализ качества электрической энергии (подстанция УрФУ); обучение на ПС УПИ 35/6кВ, типовой понижающей подстанции 6/0,4кВ ТП 1057, в учебном классе электроцеха ЭПК УрФУ.

Практическая часть является инвариантом. Некоторые отличия (условно) внесены заказчиками за счет того, что практическая работа частично реализована на их территории (темы тепловизионного обследования и анализа качества электрической энергии).



а



б

Практическое занятия по программе УрФУ «Энергосбережение, повышение энергетической эффективности и ресурсосбережение в промышленности»:  
а) в лаборатории частотного электропривода, б) определение параметров уходящих газов

### *Заказчики программы и цели обучения*

Заказчиками выступают, в основном, крупные предприятия с годовым потреблением ТЭР более 10 млн руб. Наиболее заинтересованный подход здесь показали компании:

- «ЕВРАЗ НТМК» – направлено на обучение десять сотрудников, как с электротехническим, так и с теплотехническим образованием (что существенно – см. ниже);
- Красноуральский химический завод – направлено 8 сотрудников, в том числе – для последующего участия в СРО по энергосбережению и проведения внутреннего энергетического аудита;
- ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор» – направлено на обучение и стажировки по России и за рубежом шесть человек;
- ОАО «УГМК» – направлено по одному человеку от пяти подразделений с целью подготовки кадров для развития системы энергоменеджмента и внутреннего энергетического аудита.

Выделяются две группы слушателей – среднее и высшее управленческое звено и инженерный состав энергетических служб. Слушатели приходят на курсы для получения совершенно определенных компетенций. Базовое образование позволяет им наиболее полно воспринимать часть материала, как правило – либо вопросы качества электрической энергии и настройки частотно-управляемых электроприводов, либо вопросы эффективности тепловой схемы. В остальном составляется общее представление и понимание, какие вопросы в целом должны решаться при инструментальных энергетических обследованиях и составлении программ энергосбережения.

Обратная связь с предприятиями дает ожидаемую картину – практическое использование полученных знаний и навыков «тормозится» недостаточным финансированием. Предприятия работают на перспективу – получают обученный персонал. Реализация его компетенций пока, в основном, отложена.

### *Перспективы тематического развития программы*

Можно предполагать, что уже в следующем году заказчики будут интересоваться вопросами разработки схем теплоснабжения, поскольку соответст-

вующие нормативные документы вступили в силу, появляется законодательное стимулирование практического интереса.

Развиваются системы диспетчеризации и учета энергоресурсов. Это, вероятно, может вызвать интерес к таким темам как АСКУЭ разного уровня в масштабах предприятия, жилого района, крупного объекта.

Следующий (перспективный и по времени не близкий) вопрос – снижение тепловых потерь в зданиях, переход к «энергопассивному домостроению». К этому с 2010 года «склоняют» документы Министерства энергетики России.

Поскольку практическая часть составляет более 50 % от продолжительности курса, это лимитирует теоретическую часть, в которой можно было бы более подробно раскрывать вопросы возобновляемой энергетики, систем *Smart-Grid*, современных принципов генерации тепловой и электрической энергии, энергосбережения при транспорте газа.

Потенциал преподавательского состава Уральского энергетического института УрФУ позволяет предметно осветить все указанные вопросы.

#### *Заключение*

1. Получен положительный опыт повышения квалификации инженерных кадров в рамках работы по федеральной программе. Налажена система работы с предприятиями в части формирования содержания и графика обучения.

2. Инфраструктура и приборное обеспечение УрФУ позволяют на необходимом и достаточном уровне проводить практическую часть обучения, которая является в настоящее время наиболее востребованной, поскольку период документальных энергетических обследований, в целом, завершается.

3. Для удовлетворения возможных запросов заказчиков в перспективе в части АСКУЭ, «энергопассивных» зданий, *SmartGrid* и др. требуется развитие демонстрационных и лабораторных мощностей Полигона энергетической эффективности УрФУ.

4. В настоящее время практическим результатом участия в курсах для предприятий является наращивание соответствующих компетенций персонала и получение документов для участия в СРО в области энергетических обследований с целью энергосбережения и повышения энергетической эффективности производства и для начала работ по созданию системы энергоменеджмента по ИСО 50001.

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ**

*Чалов Е.О., Платонов И.В., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
e\_chalov@mail.ru, plabel@mail.ru ; kartavzw@mail.ru*

Предприятия черной металлургии являются значительными источниками вторичных энергетических ресурсов. Одним из них является теплота жидкой стали. Использование данного высокотемпературного ресурса могло бы способствовать общей экономии энергии и ресурсов.

Согласно методологии интенсивного энергосбережения [1], которая лежит в основе данной работы, наиболее эффективным способом энергосбережения является принцип технологической регенерации, то есть для увеличения коэффициента использования энергии необходимо возвращать в процесс [1]. Теплота жидкой стали, в первую очередь, должна быть направлена на нагрев технологических потоков сталеплавильного процесса.

Проведенные ранее работы [2-4] показали, что наиболее эффективным использованием теплоты жидкой стали в сталеплавильном процессе является подогрев и плавление металлического лома. Потому, как в действующем технологическом комплексе из всех имеющихся материальных потоков, которые могут быть нагреты, лишь металлический лом возможно нагреть до температуры 1600 °С и передать ему всю теплоту жидкой стали, равной 1400 МДж/т.

Увеличение доли лома в шихте является важной задачей, поскольку при увеличении лома снижается доля чугуна в шихте, а чугун, в свою очередь, требует больших энергетических затрат на подготовку. Снижение расхода чугуна позволяет обойтись без расширения производственных мощностей по добыче, транспорту и подготовке руд, производству кокса, выплавке чугуна. Плавка стали из лома резко снижает выбросы диоксида углерода в атмосферу, не говоря о снижении затрат на очистку технологических газов и сточных вод.

Имеются принципиальные решения по передаче теплоты жидкой стали через высокотемпературный теплоноситель для плавления лома. В качестве теплоносителя был выбран свинцово-висмутовый сплав С-13, данный теплоноситель подходит по теплофизическим данным и химически не взаимодействует со сталью [2-4].

Использование теплоты жидкой стали для плавления металлического лома и применение его в сталеплавильном процессе позволяет снизить материалоемкость и энергоемкость действующего производства и сэкономить первичные природные материалы и энергоносители [4].

Для проверки принципиальной возможности плавления металлического лома в высокотемпературном теплоносителе, а также для получения экспериментальных данных по времени плавления, в зависимости от температуры теплоносителя, необходимо проведение эксперимента.

Сложность натурального моделирования процесса плавления металлического лома в высокотемпературном теплоносителе (при 1600 °С) обуславливается отсутствием необходимого оборудования, в результате чего разрабатывается физическое моделирование процесса в лабораторных условиях.

Основными критериями при выборе материалов для моделирования были: наглядность установки, простота конструкции, низкая температура материалов, хорошая изученность теплофизических свойств, доступность и не токсичность.

Для моделирования процесса плавления металлического лома моделирующим материалом был выбран парафин, а материалом, моделирующим высокотемпературный теплоноситель с большой плотностью, была выбрана вода. Конструкционными материалами для изготовления демонстрационной модели были выбраны металл и оргстекло.

Для достоверности полученных результатов физическое моделирование осуществляется на основе правил подобия. Критерием теплового подобия является число Био. Для геометрически подобных тел, равенство чисел Био определяет подобие распределения температуры.

На основании теплофизических данных [5] (табл. 1) и с помощью представленных ниже формул [5] были рассчитаны значения Био.

Таблица 1

Основные теплофизические данные

| Параметр                                   | Обозначение      | С-13                 | Вода               |
|--|------------------|----------------------|--------------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>               | $\rho$           | 9880                 | 998,2              |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)     | $\lambda_{ж}$    | 16,7                 | 0,67               |
| Кинематическая вязкость, м <sup>2</sup> /с | $\nu$            | $1,14 \cdot 10^{-7}$ | $10 \cdot 10^{-7}$ |
| Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)           | $c_p$            | 147                  | 4180               |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)     | $\lambda_{\tau}$ | Стали                | Парафина           |
|  |                  | 44                   | 0,267              |

Число Био:  $Bi = \frac{\alpha_{ж} \cdot d_3}{\lambda_{\tau}}$

Коэффициент теплоотдачи:  $\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{ж}}{d_3}$

Эквивалентный диаметр:  $d_3 = \frac{6 \cdot V}{\pi}$

Число Нуссельта:  $Nu = 2 + 0,03 \cdot (Re^{0,54} \cdot Pr^{0,33}) + 0,25 \cdot (Re^{0,5} + Pr^{0,356})$

Число Рейнольдса:  $Re = \frac{\omega \cdot d_3}{\nu}$

Число Прандтля:  $Pr = \frac{\nu}{a}$

Коэффициент температуропроводности:  $a = \frac{\lambda_{ж}}{\rho \cdot c_p}$

В табл. 2 сведены рассчитанные числа Био для металлического лома в сплаве С-13, в зависимости от диаметра лома и скорости движения теплоносителя. В расчетах металлолом представлен в виде стальных шаров, что является обычным приемом идеализации при решении задач нагрева и расплавления шихты. Поэтому для различных видов лома определяли эквивалентный диаметр их кусков.

В расчетах эквивалентный диаметр лома изменялся в интервале 25–500 мм, что следует из эквивалентного диаметра лома и отвечает достаточно большому разнообразию видов лома, применяемого в сталеплавильном процессе.

Таблица 2

Значения чисел Био для металлического лома

| Скорость сплава С-13, м/с | Эквивалентный диаметр металлического лома, м |       |       |       |      |      |       |
|---------------------------|--|-------|-------|-------|------|------|-------|
|                           | 0,5  | 0,4   | 0,3   | 0,2   | 0,1  | 0,05 | 0,025 |
| 0,1                       | 50,8   | 44,7  | 38,0  | 30,2  | 20,5 | 14,0 | 9,6   |
| 0,3                       | 95,1   | 83,7  | 71,0  | 56,3  | 38,0 | 25,7 | 17,5  |
| 0,5                       | 127,5  | 112,2 | 95,1  | 75,4  | 50,8 | 34,3 | 23,2  |
| 0,8                       | 167,1  | 147,0 | 124,6 | 98,7  | 66,4 | 44,7 | 30,2  |
| 1,0                       | 190,0  | 167,1 | 141,6 | 112,2 | 75,4 | 50,8 | 34,3  |

Для проведения физического моделирования процесса плавления на парафине и воде, необходимо было подобрать такие значения скоростей движения воды и размеров парафина, чтобы числа Био при натурном и физическом моделировании были равны. Полученные значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения чисел Био для парафина

| Скорость воды,<br>м/с | Эквивалентный диаметр парафина, м |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 0,03                              | 0,024 | 0,018 | 0,012 | 0,005 | 0,003 | 0,001 |
| 0,01                  | 54,4                              | 48,4  | 41,8  | 34,1  | 22,6  | 18,1  | 12,0  |
| 0,03                  | 98,2                              | 86,9  | 74,3  | 59,9  | 38,1  | 29,6  | 18,1  |
| 0,05                  | 130,1                             | 115,0 | 98,1  | 78,7  | 49,5  | 38,1  | 22,6  |
| 0,08                  | 169,1                             | 149,3 | 127,2 | 101,7 | 63,3  | 48,4  | 28,0  |
| 0,1                   | 191,7                             | 169,1 | 144,0 | 115,0 | 71,3  | 54,4  | 31,2  |

Из таблицы видно, что для реальных интервалов чисел Био от 9,6 до 190 существуют модельные скорости воды и диаметров парафина, дающие значения Био в том же интервале. Таким образом, в лабораторных условиях могут быть проведены эксперименты, адекватно моделирующие энергосберегающий высокотемпературный процесс плавления металлического лома в жидкометаллическом теплоносителе.

#### *Библиографический список*

1. Ключников А.Д. Интенсивное энергосбережение: предпосылки, методы, следствия // Теплоэнергетика. 1994. № 1. С. 12–16.
2. Строгонов К.В., Картацев С.В. Жидкая сталь. Использование теплоты и скоростная разливка: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2006. 147 с.
3. Способ производства плоских изделий: Патент № 2239515 РФ, МКИ<sup>7</sup> В 22 D 11/1 / Картацев С.В., Строгонов К.В. (РФ). 4 с.: ил.
4. Платонов И.В., Картацев С.В. Возможности интенсивного энергосбережения в электроплавильном процессе // Электрометаллургия. 2013. № 8. С. 42-45.
5. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. 2-е изд., перераб. М.: Энергоиздат, 1988. 560 с.

## **МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ**

*Чернова А.Д., Семенова Н.Г.*

*Оренбургский государственный университет  
tomsk@house.osu.ru; fiara@inbox.ru*

В настоящее время активно используются методы искусственного интеллекта (нейронные сети, генетические алгоритмы, экспертные системы, теория нечетких множеств и др.) в вопросах решения технических задач. Интерес представляет использование этих методов в задачах систем энергообеспечения. В работе рассматриваются принципы этих методов, способы применения, основные достоинства и недостатки.

Нейронные сети представляют собой распределенные системы, состоящие из входного, внутренних и выходного слоев, в каждом из которых несколько нейронов, между которыми есть связи, называемые весами. Нейронные сети способны к адаптивному обучению путем реакции на положительные и отрицательные воздействия [1].

В электроэнергетике искусственные нейронные сети используются для предсказания нагрузки; управления потоками электроэнергии в сетях; диагностики; оптимизации размещения датчиков. Их существенным достоинством является способность приспосабливаться к изменяющимся условиям, быстро выявлять смену тенденций, возможность использовать большое количество входных параметров, оценивать их важность и как следствие уменьшить объем. Так же нейронные сети могут использоваться в составе других технологий искусственного интеллекта; при решении задач с нелинейным характером прогнозируемых процессов, высоким уровнем неопределенности, без ограничений и предварительных проверок. Мощность нейросистемы может неограниченно наращиваться [2, 3].

Недостаток статистических данных для обучения и скрытый характер функционирования создают сложности при разработке и использовании искусственных нейронных сетей.

Генетические алгоритмы – поисковые алгоритмы стохастической оптимизации, основанные на механизмах генетики. Процессу построения предшествуют выбор начальных условий, критерия, анализ и выбор ограничений, учитывающих особенности объектов, систем, и факторы, влияющие на их функционирование. До начала моделирования со случайным набором хромосом создаются индивидуумы, которые затем скрещиваются и мутируют. В результате отбора определяется, как строится популяция следующего поколения из старой, и добавляются новые индивидуумы. Затем эти операции повторяются. В качестве решения задачи оптимизации принимают наилучшего из найденных индивидуумов.

Примером использования генетических алгоритмов является: оптимизация систем электроснабжения (СЭС) по активной и реактивной мощности [4], оптимизация режимов электроэнергетической системы (ЭЭС) по коэффициентам трансформации; решения задач управления, надежности электрооборудования [5]; планирование режимов электроэнергетических систем [6].

Генетические алгоритмы позволяют определить достаточно быстро точное решение сложных оптимизационных задач (в том числе с изменяющейся средой), имеющих многомерный характер; не требуют никакой информации о поведении функции; стойки к попаданию в локальные оптимумы; учитывают технические ограничения любого вида, дискретность и целочисленность переменных; просты в реализации; могут применяться совместно с другими методами расчета.

К недостаткам генетических алгоритмов относят: большое время поиска экстремума, что не позволяет использовать их в режимах реального времени; недостаточное приближение найденного решения к оптимальному значению на небольшом пространстве поиска.

При проектировании систем электроснабжения, имеющих высокий уровень неопределённости, решающим является опыт проектировщика. Формализация этих знаний возможна при использовании экспертных систем – направления исследований по созданию вычислительных систем, умеющих принимать решения, схожие с решениями экспертов в предметной области, и предназначенные для консультаций менее квалифицированных специалистов.

Экспертные системы разрабатываются для операторов энергетических объектов, они предоставляют информацию о состоянии энергоблока; привлекают внимание оператора к нарушениям; проводят диагностику нарушений; выбирают необходимые действия по их устранению. Также широко используются экспертные системы для автоматизированных систем управления СЭС, тренажеров, создания сценариев оперативных переключений.

Экспертные системы позволяют для широкого круга задач получать решение, приносящее значительный экономический эффект и упрощающее процессы; добавляют новые качества к программам при объединении экспертных систем с технологиями традиционного программирования.

Недостатки экспертных систем заключаются в создании экспертной базы знаний, что обуславливает некоторый субъективизм. Также можно выделить недостатки, вытекающие из особенности задач, не позволяющих решить их этим методом или имеющих более точное численное решение.

Для уменьшения неопределенности в электроэнергетических задачах различного класса были разработаны методы на основе аппарата теории нечетких множеств, которые затрагивают следующие вопросы: оценка состояния электротехнических устройств, решение задач управления функционированием ЭЭС, диагностирование состояния энергетической безопасности территорий, решение задач прогнозирования потерь мощности в электрических сетях, оптимизация систем электроснабжения сельских районов [7].

Принцип этих методов заключается в том, что параметры, которые не могут быть заданными детерминировано или с определенной степенью вероятности, представляются в виде нечетких множеств, характеризующихся функцией принадлежности.

Преимущества нечетких множеств заключаются в возможности оперировать неоднозначно задаваемыми изменяющимися входными данными и отражать в выходных данных суммарную степень неопределенности исходных данных; в возможности повышения достоверности описания объекта. Теория нечетких множеств позволяет быстро и не трудоемко моделировать и анализировать сложные динамические системы, удобно и качественно оценивать альтернативы по отдельным критериям путем лингвистической оценки или ранжированием в зависимости значения функции принадлежности. Также отсутствует необходимость в определении количественных зависимостей между исходами и альтернативами, в алгоритме четко определена точка остановки и нет риска переполнения данными.



К недостаткам также относят отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем; исходный набор правил, вид и параметры функций принадлежности выбираются экспертом-человеком и могут оказаться неполными или противоречивыми. Также отсутствует возможность добавления новых знаний из-за слабой устойчивости результатов.

#### *Библиографический список*

1. Гордеев А.С., Чувилкин А.В. Прогнозирование электропотребления объектов с применением искусственных нейронных сетей // Вопросы современной науки практики. 2008. № 2. С. 32-36.
2. Галушкин А.И. Применение нейрокомпьютеров в энергетических системах [Электронный ресурс] // Научный центр нейрокомпьютеров: [сайт]. [2013]. URL: <http://www.icmm.ru/~masich/win/lexion/neuro/energy.htm> (дата обращения 6.11.2013)
3. Каменев А.С., Королев С.Ю., Сокотущенко В.Н. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / под ред. В.В. Бушуева. М.: ИЦ «Энергия», 2012. 124 с.
4. Манусов В.З., Павлюченко Д.А. Генетический алгоритм оптимизации режимов энергосистем по активной мощности // Электро. 2003. № 3.
5. Елтышев Д.К., Петроченков А.Б., Бочкарёв С.В. К вопросу о применении генетических методов для решения задач поддержки жизненного цикла электрооборудования // Доклады Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2009. № 2. С. 136-142.
6. Любченко В.Я., Павлюченко Д.А. Генетические алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем // Информационные системы и технологии. ИСТ'2003: Международная научно-техническая конференция: Материалы конференции (доклады и тезисы докладов).
7. Семенова Л.А. Разработка методики принятия решения по развитию систем электроснабжения с применением техноценологического подхода и теории нечетких множеств: автореферат дисс.... канд. техн. наук: 05.14.02. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. 24 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МЕЖКОНТАКТНОГО ПРОМЕЖУТКА ЭЛЕГАЗОВОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА КЛАСС НАПРЯЖЕНИЯ 110 кВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЯЕМОЙ КОММУТАЦИИ**

*Черноскотов Д.В.  
УрФУ, [chernoskutov1989dv@mail.ru](mailto:chernoskutov1989dv@mail.ru)*

Современное высоковольтное оборудование подстанций Единой энергосистемы РФ требует повышения уровня надежности ее элементов. Отдельное внимание в части повышения надежности и энергосбережения должно быть уделено аспектам коммутации высоковольтными выключателями, которые подвергаются значительным нагрузкам. В ходе проведения исследовательских испытаний на базе высоковольтной лаборатории ООО «УралЭлектроТяжмаш» интеллектуальная система обеспечивала предварительный пробой межконтактного промежутка элегазового выключателя ВГТ-110 на класс напряжения

110 кВ (замыкание контактов) вблизи максимума опорного напряжения при включении емкостной нагрузки. Напряжение пробоя получалось плавным повышением напряжения и изменением задержки на операцию включения таким образом, чтобы момент электрофизического предварительного пробоя происходил в максимум напряжения. Полученные опытные данные приведены на рис. 1-3.

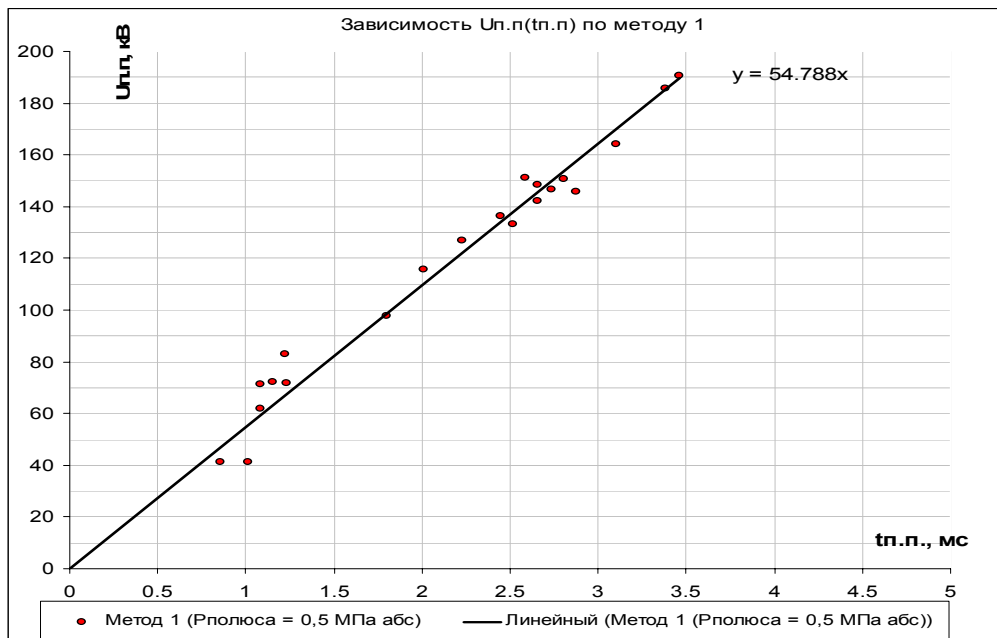


Рис. 1. Зависимость напряжения предварительного пробоя от времени (метод 1) при давлении заполнения 0,5 МПа

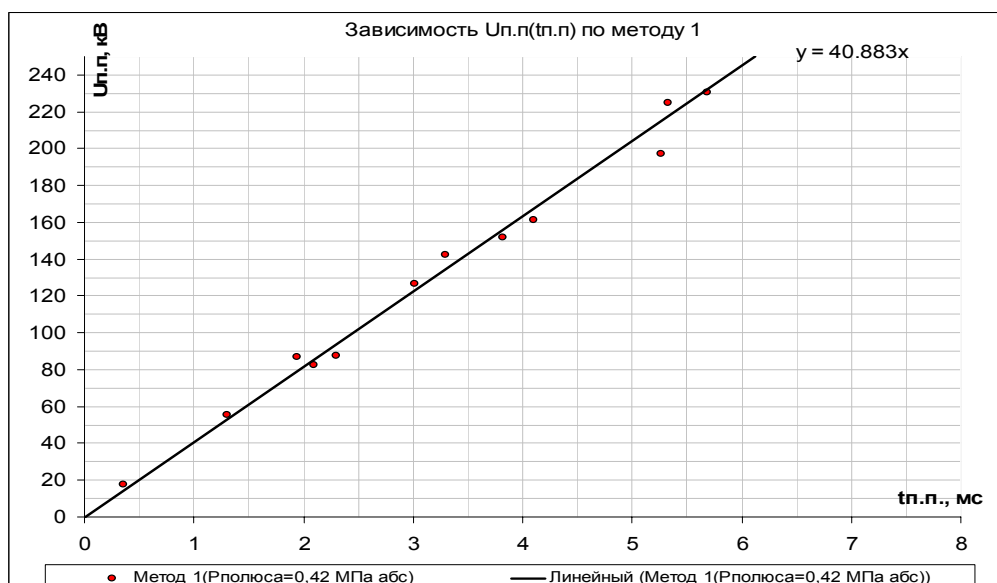


Рис. 2. Зависимость напряжения предварительного пробоя от времени (метод 1) при давлении заполнения 0,42 МПа

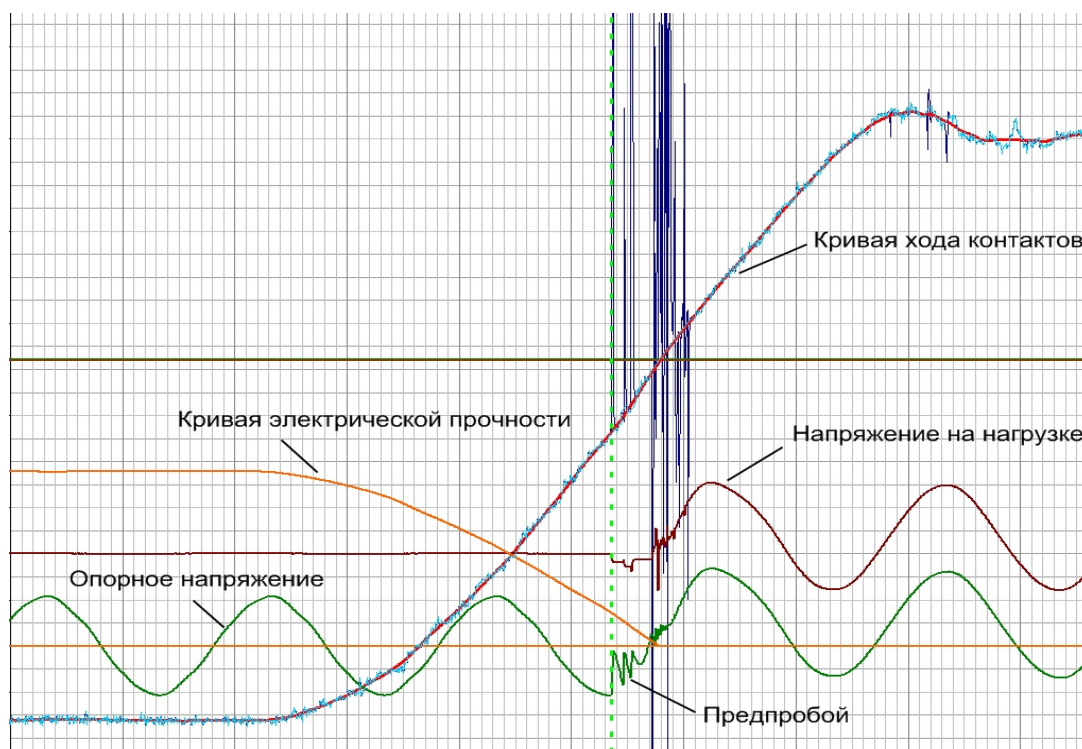


Рис. 3. Кривая электрической прочности относительно кривой хода контактов на включение, опорного напряжения и напряжения на нагрузке

### *Выводы*

При всем многообразии преимуществ систем управляемой коммутации в данной статье были рассмотрены лишь процессы определения напряжений предварительного пробоя в дугогасящей и изолирующей среде гексафторида серы элегазового выключателя на класс напряжения 110 кВ. В связи с увеличением потребляемой мощности и инновационным направлением замены, модернизации оборудования подстанций единой электросистемы и энергосбережения ресурсов подобные интеллектуальные системы найдут активное применение. Данные, полученные из данного исследования, могут лечь в основу создания проработанной системы управляемой коммутации и дать необходимые задержки на оперирование, при котором будет достигаться повышение отключающей способности и увеличение степени защиты оборудования электросети.

### *Библиографический список*

1. Wilson H., Hiroki I. Factory and field testing of controlled switching systems and their service experience // CIGRE Transactions from 2004 Science Session.
2. Martin Much. Controlled switching of the T402 transformer in the 400 KV Substation // Journal of Electrical Engineering. 2010. Vol. 61. № 1. P. 11-19.
3. A3-07 Working Group: Controlled switching guide I-III / K. Frohlich, A. Carvalho, H. Ito. 2004.
4. Афанасьев В.В. Справочник по аппаратам высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1987. 537 с.

## ПЕРЕВОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДОГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ НА ОТОПЛЕНИЕ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

Черноскутов М.А., Казяев М.Д.  
УрФУ, lilac.17@hotmail.com

В настоящее время на Уральском алюминиевом заводе в литейном цехе установлены печи САН-3б с электрическим обогревом. В связи с высокой стоимостью электроэнергии и постоянным удорожанием, рентабельность производства находится на низком уровне. Назрел вопрос перевода данной печи на отопление природным газом в целях снижения затрат на производство продукции.

Печь САН-3б является печью отражательного типа с нихромовыми нагревательными элементами. На рисунке представлена схема данной печи.

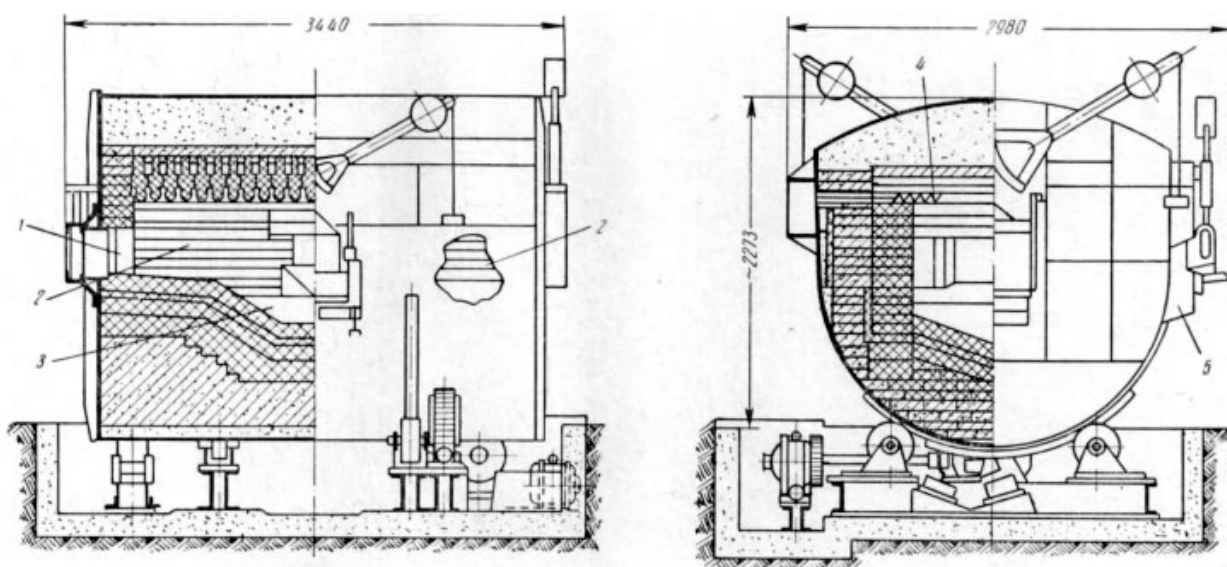


Схема печи сопротивления САН-3б поворотного типа для плавки алюминиевых сплавов:

- 1 – загрузочное окно; 2 – рабочее пространство; 3 – ванна жидкого металла;  
4 – электронагревательные элементы; 5 – сливной носок

В данной печи производится подогрев жидкого металла нихромовыми спиралями, заложенными в пазы свода. Плавильное пространство состоит из форкамеры, в которую заливается первичный алюминий и добавляется кремний, в результате чего получается силумин. Печь обеспечивает высокую чистоту сплава, малый угар, легкую регулировку температуры, но при высокой стоимости затрат на электроэнергию.

Данная печь емкостью 11 тонн, имеет электрическую мощность 300 кВт. Рабочая температура свода около 900 °С. Нихромовые элементы установлены по типу “зигзаг”, их максимальная температура 1100 °С. Режим работы печи непрерывный. Температура в печи поддерживается автоматически путем включения и выключения нагревательных элементов. Металл массой 10 тонн заливается в печь с температурой 700 °С с помощью специального лотка через за-

грузочное окно. Добавление кремния производится через люк в своде печи. Время подогрева расплава до температуры 830 °С составляет 15 минут.

В целях энергосбережения предлагается перевести данную печь с отопления электроэнергией на отопление природным газом. При переводе на газ предполагается заменить арочный кирпичный свод на плоский панельный, выполненный из керамоволокнистых модулей (Z-блоки). В своде устанавливаются 4 рекуперативные плоскопламенные горелки немецкой фирмы Kromschroeder, обеспечивающие подвод газа, воздуха и отвод продуктов горения. Стоит отметить, что свод останется излучателем, как и при электрической схеме отопления. При этом температура свода будет держаться на отметке 900 °С. Благодаря данной конструкции горелок подогрев воздуха может осуществляться до температуры 400 °С.

Данная модернизация позволит увеличить мощность печи и повысить ее производительность. Но главной целью модернизации является снижение энергозатрат на производство металла, уменьшение расходов на ремонты нагревательных элементов и их обслуживание.

## **МЕТОДЫ ВЫРАВНИВАНИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

*Шаюхов Т.Т., Ковалев А.А.*

*Уральский государственный университет путей сообщения  
shayuhov@mail.ru, kovalev@k66.ru*

Промышленные предприятия, коммунально-бытовые потребители, сфера обслуживания и офисы потребляют электрическую энергию в различных режимах. Режимы потребления электроэнергии отражают графики нагрузки. Как правило, выделяют суточные, недельные, месячные, годовые, сезонные графики нагрузки и др. Каждый из вышеназванных потребителей имеет свой график нагрузки, отличающийся от остальных.

Следует отметить, что характер графика коммунально-бытовой нагрузки фактически повторяет график нагрузки энергосистемы в целом.

Графики нагрузки в большинстве случаев представляют собой неравномерную линию, состоящую из множества отрезков, с пиками в утренние (8-11) и вечерние (18-22) часы.

В современных условиях жесткого регулирования тарифов и отсутствия рыночного ценообразования на электроэнергию, выравнивание графика нагрузки выгодно лишь одной стороне – генерирующим организациям. Для потребителей же выравнивание графика несет дополнительные капитальные затраты.

Для того чтобы заинтересовать потребителей в выравнивании графика нагрузки, снабжающим организациям необходимо предложить такую ценовую политику, при которой затраты на мероприятия по выравниванию графика оправдывались бы в краткосрочной перспективе, например, за счет снижения цены за потребленную энергию.

Рассмотрим возможные методы выравнивания неравномерности нагрузки.

Установленная мощность электростанций в России достаточно велика, поэтому проблему выравнивания графика нагрузки за счет резервных мощностей энергосистема в состоянии решать. Но такое решение проблемы достаточно дорогое и не бережливое. Ведь на содержание резервных мощностей необходимы дополнительные затраты. Необходимо создавать оптимальную структуру генерирующих мощностей энергосистемы.

В некоторых случаях возможно прибегать к использованию перетоков с соседними энергосистемами.

Достаточно эффективным способом выравнивания сетевой нагрузки может стать использование ночного избытка электрической энергии для нагрева воды как в системе централизованного, так и децентрализованного водоснабжения. Потребители, использующие электроустановки для нагрева воды, могут стать потребителями-регуляторами, запасаящими энергию во внепиковые часы и использующие ее в часы максимума нагрузки.

Еще одним направлением по выравниванию графика нагрузки является привлечение потребителей к выравниванию за счет административных (ограничивающих) и экономических (стимулирующих мер). А именно, распространение двухставочного тарифа, тарифа, дифференцированного по зонам суток, и почасовых цен, и некоторые другие меры стимулируют снижать пиковое потребление либо переносить его на другие часы и дни недели [3].

Если метод экономического стимулирования достаточно эффективно воздействует на промышленные предприятия, то жилищно-коммунальный комплекс не в полной мере поддается такому воздействию. Не каждого из нас можно заставить не включать по приходу домой электрический чайник, микроволновую или электрическую печь, телевизор и т.п.

Регулирование графика нагрузки коммунально-бытового комплекса наиболее сложная и актуальная задача. В настоящее время решение этой проблемы прорабатывается как в России, так и в Европе. Предлагается установка устройств, аккумулирующих энергию в часы ночного провала или в выходные дни и отдающих ее в сеть или напрямую потребителю в пиковые часы.

Аккумулировать электрическую энергию можно централизованно – на стороне генерации (например, строительство крупной гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС) вблизи теплоэлектростанций (ТЭС), атомных электростанций (АЭС) и пр.). Примерами таких станций могут послужить Загорская ГАЭС, Ставропольская ГАЭС.

Децентрализованная аккумуляция предусматривает установку аккумуляторов непосредственно у потребителя (например, на крыше или в подвале многоэтажного дома). Опыт использования таких устройств носит единичный экспериментальный характер. Такого рода аккумуляторы имеют большие габариты, вес, а также они достаточно дорогие. В то же время следует отметить, что аккумуляторы постоянно совершенствуются и указанные недостатки постепенно исчезают.

Применение накопителей электроэнергии позволяет не только выравнивать энергопотребление, но и обеспечивать бесперебойность и повышать на-

дежность электроснабжения. Например, использование аккумулирующих устройств в совокупности с малой генерацией на органическом топливе (ДГУ, ПГУ, ГТУ) позволяет:

- ✓ обеспечить работу объектов малой генерации с постоянной, наиболее экономичной нагрузкой;
- ✓ стабилизировать напряжение и частоту при сбросах и набросах нагрузки;
- ✓ обеспечить бесперебойное снабжение потребителей при пусках и остановках объектов малой генерации.

Применение накопителей энергии в системе тягового электроснабжения позволит:

- ✓ уменьшить установленную мощность понижающих и преобразовательных трансформаторов тяговых подстанций;
- ✓ уменьшить расход энергии на тягу за счет использования избыточной энергии рекуперации на тягу поездов;
- ✓ снизить потери электроэнергии в тяговой сети.

Как видно из проведенного анализа, выравнять график электрической нагрузки можно различными путями. Чтобы получить экономический эффект от выравнивания графика, необходимо грамотно подходить к внедрению мероприятий по выравниванию, создавать условия для поддержки тех потребителей, которые применяют современное аккумулирующее и генерирующее оборудование, вести такую ценовую политику, при которой потребителям было бы выгодно устанавливать у себя аккумулирующие установки.

#### *Библиографический список*

1. Ковалев А.А., Шаюхов Т.Т. Выравнивание графиков нагрузки. // Энергетика, электропривод, энергосбережение и экономика предприятий, организаций, учреждений: Материалы молодежной межрегиональной научно-практической конференции 25 апреля 2013 г. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2013. 128 с.
2. Попель О.С., Тарасенко А.Б. Накопители электрической энергии. // Энергоэксперт. 2011. № 3. С. 28-37.
3. Энергетический бизнес [Электронный ресурс] URL: <http://interenergoportal.ru/regulirovanie-rezhimov-elektropotrebleniya.html>. (21.09.2013 г.)
4. Энергетика и ТЭК [Электронный ресурс] URL: [http://www.energetika.by/arch/~page\\_m21=2~news\\_m21=169](http://www.energetika.by/arch/~page_m21=2~news_m21=169) (8.10.2013 г.)
5. РусГидро. Загорская ГАЭС [Электронный ресурс] URL: <http://www.zagaes.rushydro.ru/> (28.09.2013 г.)

## **ИСКУССТВЕННАЯ ДОРОЖНАЯ НЕРОВНОСТЬ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

*Шестакова В.В., Кирпичникова И.М.  
Южно-Уральский государственный университет  
vasla@mail.ru*

На сегодняшний день очень актуальна проблема энергосбережения. Ученые всего мира пришли к выводу, что этого можно достигнуть за счет повышения эффективности производства и энергоснабжения, перехода на другие виды

топлива и, конечно, внедрения возобновляемых и альтернативных источников энергии [1]. Разработка энергосберегающих технологий стала приоритетным направлением развития промышленно развитых стран.

Энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает в никуда – она переходит из одной формы в другую [2]. При посещении одного из торгово-развлекательных центров нашего города было обращено внимание, как обустроена территория для парковки автомобилей. Практически постоянный поток машин движется к парковочным местам, и, соответственно, такой же поток движется в обратном направлении. В вечернее и ночное время вся территория парковки освещается огромным количеством ламп. Это требует больших энергозатрат. Думается, что такой большой поток движущихся машин обладает значительным энергетическим потенциалом. Из посещения центра автомобилями можно извлечь выгоду – использовать их в качестве альтернативного источника энергии. При движении машин на поверхность пола передаются колебания, которые можно преобразовывать в электрические сигналы. Полученные электрические сигналы, накопленные в виде энергии в аккумуляторах, можно использовать для питания приемников энергии (например, дежурное освещение подземной парковки торгово-развлекательного комплекса в ночное время с помощью светодиодных ламп).

Было решено создать устройство, преобразующее энергию периодических (колебательных) движений в другой вид энергии – специально подготовленную конструкцию (платформу) – «имитацию» искусственной дорожной неровности («лежачего полицейского») [3]. Изучив прилегающую территорию торгово-развлекательного комплекса «Родник» города Челябинска, было определено время наибольшей активности передвижения, количество машин, посещающих комплекс, и место наибольшей проходимости. Именно это место было предложено как наиболее удобное для установки нашего устройства.

Машина заезжает на искусственную неровность. Под действием силы тяжести гребень конструкции воздействует (давит) на рычаги генераторов. В этот момент пружины, находящиеся внутри прибора, сжимаются, и рычаг крутит шестеренку, которая, в свою очередь, раскручивает магнит, после чего механическое воздействие передается на генератор. Машина проезжает, верхняя часть платформы поднимается за счет гидравлических стоек. Вместе с ней под действием пружины зубчатый рычаг возвращается в исходное положение, и в этот момент он при помощи шестеренки раскручивает второй генератор. Так усовершенствовали используемое устройство, преобразующее механическое воздействие (колебания) в электрическую энергию. При возвращении в исходное положение раскручивается установленный второй генератор, что исключает движение зубчатого рычага «в холостую» [4], а это значительно повышает эффективность данного устройства.

Зная, какое количество автомобилей проезжает выбранное нами место – центральный въезд на подземную парковку, производится расчет энергии, вырабатываемой генераторами (платформа вмещает шестьдесят генераторов). Для этого высчитывается, какое количество времени работает генератор в течение



дня, суммируя количество срабатываний генератора за время работы парковки (5 ч).

Необходимо рассчитать потери мощности в электрической цепи в процессе работы нашего устройства. Значение тока, который вырабатывает генератор, уменьшается из-за сопротивления катушки генератора и проводов.

Сопротивление катушки генератора находим по формуле  $R_r = 1,6 \text{ В} / 1,5 \times 10^{-3} \text{ А} = 1067 \text{ Ом}$ . От каждого генератора отходит 2 медных провода. Сопротивление проводов  $R_{\text{пр}} = 2\rho \frac{l}{S}$  равно 340 Ом. Суммарное сопротивление катушки генератора и проводов:  $R = 1067 \text{ Ом} + 340 \text{ Ом} = 1407 \text{ Ом}$ . Рассчитывается ток на выходе на одну аккумуляторную батарею в одном блоке:  $I_i = \frac{U_i}{\left(\frac{R}{10}\right)} =$

$1,6 \text{ В} / (1407 \text{ Ом} / 10) = 11,4 \text{ мА}$  (делится  $R$  – суммарное сопротивление катушки генератора и проводов, на десять приборов, подключенных параллельно в блоке). Затем рассчитывается ток, который вырабатывает один блок за один рабочий день:  $I_i = 11,4 \text{ мА} \times 300 = 3,4 \text{ А}$ .

Эта платформа состоит из шести блоков и вырабатывает ток  $I_i = 3,4 \text{ А} \times 6 \text{ шт.} = 20,4 \text{ А}$ . Но так как в блоке находится две параллельные цепи подключения генераторов и, следовательно, два аккумулятора, то на выходе вся платформа будет вырабатывать 40,8 А. Мы посчитали, что для полной зарядки аккумулятора емкостью 70 А·ч и зарядном токе 20,4 А достаточно 4 часов 8 минут. Известно, что генератор работает 5 часов в день. Это значит, что в течение рабочего дня тока, вырабатываемого шестьюдесятью генераторами, достаточно для зарядки аккумулятора емкостью 70 А·ч.

Посчитав потери на сопротивлении, рассчитывается мощность  $P = U^2/R = 18,2 \text{ мВт}$ ; а также энергия, произведенная платформой:  $W = P \cdot t \cdot 6 = 1,09 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ . Зная, что один светодиод потребляет около 20 мА [5], а триста светодиодов (необходимых для освещения парковки) потребляют 6 А, получается, что аккумулятора емкостью 70 А·ч будет достаточно для работы трехсот светодиодов в течение 11 часов без полной разрядки аккумулятора, следовательно, этого достаточно для дежурного освещения паркинга в ночное время. Так как платформа питает два аккумулятора емкостью 70 А·ч, шестьсот светодиодов смогут освещать площадь парковки в два раза больше, либо использовать второй аккумулятор как резервный.

В этом исследовании рассматривается как альтернатива энергосберегающим лампам применение светодиодных ламп. Низкое энергопотребление и долгий срок эксплуатации делают выгодным их использование [6].

Был произведен расчет затрат, необходимых при изготовлении данного устройства, для того, чтобы узнать, рентабельно ли устройство и целесообразно ли его использование. Стоимость платформы 47386 руб. Согласно нашим расчетам, устройство окупится через 3,8 года. При использовании большего количества платформ на территории ТРК «Родник» срок окупаемости их сокращается.

Разработанное устройство исследовано на одном объекте (платформа искусственной дорожной неровности при въезде на подземную автопарковку ТРК «Родник»). Учитывая общее количество въездов и выездов на территории комплекса, можно оценить перспективу использования подобных устройств как самим ТРК, так и другими торгово-развлекательными учреждениями города с точки зрения внедрения энергосберегающих технологий в рамках мегаполиса [7]. Подобный энергетический, экологический и экономический эффект можно получить и на других площадках повышенной проходимости (супермаркеты, кинотеатры). Также целесообразно использовать данное устройство на автозаправках, автостанциях, в том числе находящихся вдали от электрических сетей. Это позволит получить значительную экономию в рамках города, области и страны в целом.

#### *Библиографический список*

1. Грабб М., Вролик К, Брэк Д. Киотский протокол: анализ и интерпретация. М.: Наука, 2001. 303 с.
2. Бут Д.А. Накопители энергии. М.: Энергоатомиздат, 1991. 400 с.
3. ГОСТ Р 52605-2006. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. М.: Стандартинформ, 2007. 13 с.
4. Фролов К.В. Вибрации в технике: справочник. М.: Просвещение, 1995. 456 с.
5. Лаврус В.С. Батарейки и аккумуляторы. Киев: Наука и техника, 1995. 48 с.
6. Девисилов В.А. Освещение и здоровье человека // Безопасность жизнедеятельности. М.: Новые технологии, 2003. № 7. Приложение. С. 12–13.
7. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

### **ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОАО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»**

*Школьник Ю.И., Бушуев А.Н.*

*Орский гуманитарно-технический институт*

*Филиал Оренбургского государственного университета*

*www.julka11@mail.ru*

ТЭЦ-ПВС является одним из цехов металлургического комбината ОАО «Уральская сталь» (г. Новотроицк, Оренбургская обл.). Практически всё основное оборудование ТЭЦ-ПВС введено в эксплуатацию в период с 1950 по 1973 гг., выработало свой проектный срок эксплуатации и требует замены. Некоторые агрегаты ТЭЦ-ПВС эксплуатируются более 60 лет и не отвечают современным требованиям по экономичности и надежности работы оборудования. У всех энергетических котлов закончился проектный срок службы, также имеют место повышенные потери тепла через стены топок и конвективных шахт энергетических котлов, повышенные присосы воздуха в топки всех энергетических котлов. Производство импортных запчастей к котлам ст. № 1 и 2 заводами прекращено, вследствие чего ремонт оборудования требует капитальных затрат.

У всех паровых турбин, кроме одной, закончился проектный срок службы. В процессе столь длительной эксплуатации число часов работы оборудования паровоздухотрующей станции значительно превысило заложенные в проекте значения, оно морально изношено и требует замены.

Система КИП и автоматики ТЭЦ базируется на морально и физически устаревшей аппаратуре. Приборы отработали нормативный срок службы, ремонт невозможен, так как заводом-изготовителем такие регуляторы, приборы и датчики не выпускаются.

По рекомендации «Уралэнергочермет», на основании заключения о состоянии металла паропроводов на ТЭЦ снижена температура острого пара в части высокого давления с 540 до 520 °С. Такое снижение температуры острого пара приводит к неизбежному снижению термического КПД цикла примерно на 0,3-1 % (в зависимости от режима работы турбин).

При принятии решения о реконструкции ТЭЦ и путях ее реализации необходимо учитывать также то, что в случае аварийных остановов оборудования возможны нарушения технологического процесса комбината со срывом основного производства, а также снижается надежность теплообеспечения г. Новотроицка.

Анализируя работу ТЭЦ-ПВС за период с 2006 по 2011 гг., можно сделать вывод, что объем производства тепловой энергии возрос, а объемы производства электрической энергии и сжатого воздуха практически не изменились. Анализируя объем произведенной продукции в 1 квартале 2012 г. можно сделать вывод, что выработка основной продукции в 2012 г. сохраняется на уровне 2011 г. В ходе анализа режимов работы оборудования ТЭЦ-ПВС было обнаружено, что основное оборудование работает в режиме максимальной загрузки. В сложившейся ситуации надо отметить необходимость введения новых генерирующих мощностей и постепенный вывод давно выработавшего свой парковый срок оборудования. Котлы Комбайшен введены в эксплуатацию в 1950 и 1951 гг. Турбины АП-25-2 ст. № 1 и ВТ-25-4 ст. № 3 введены в эксплуатацию в 1951 и 1958 гг. соответственно. Все находящиеся в данный момент в эксплуатации турбовоздухотруйки введены в эксплуатацию в период с 1955 по 1973 гг. При дальнейшей эксплуатации оборудования будет возрастать количество аварий, что приведет к недовыработке основной продукции.

На котлах имеются повышенные потери через стены топочных камер и конвективных шахт, что приводит к снижению коэффициента полезного действия котлов и, как следствие, к снижению коэффициента полезного действия ТЭЦ. Следствием плохого охлаждения циркуляционной воды является ограничение по нагрузке и снижение экономичности работы ТЭЦ. Затраты на ремонтный фонд ТЭЦ возрастают вследствие высокого износа оборудования.

В случае установки нового генерирующего оборудования взамен установленного в настоящее время на ТЭЦ-ПВС коэффициент полезного действия станции может увеличиться в среднем на 4-15 % в зависимости от предлагаемой схемы новой генерирующей системы. На основании данных 2010-2012 гг. можно сделать приблизительную оценку экономии энергоресурсов. Экономия топлива, при условии, что выработка основной продукции и соотношение ви-

дов сжигаемого топлива останется на неизменном уровне 2011 года, может быть оценена следующим образом:

- годовой расход природного газа составляет 418279 тыс. м<sup>3</sup>, доменного газа 1255710 тыс. м<sup>3</sup>, коксового газа – 239916 тыс. м<sup>3</sup>;

- если предположить замену оборудования ТЭЦ на новое с условием продолжения работы станции на паротурбинном цикле, то примем повышение КПД станции на 5 %;

- в таком случае, годовая экономия топлива составит:

  - природный газ –  $418279 \text{ тыс. м}^3 \cdot 0,05 = 20913,95 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ ,

  - доменный газ –  $1255710 \text{ тыс. м}^3 \cdot 0,05 = 62785,5 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ ,

  - коксовый газ –  $239916 \text{ тыс. м}^3 \cdot 0,05 = 11995,8 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ ;

- годовая экономия денежных средств, при условии, что стоимость природного, доменного и коксового газов сохраниться на среднем уровне 2011 года, составит:

$$\Xi = 20913,95 \cdot 3063 + 62785,5 \cdot 365 + 11995,8 \cdot 1400 = 103770 \text{ тыс. руб./год.}$$

Кроме снижения затрат на топливо, сократятся затраты на ремонт и обслуживание оборудования. В 2011 году эти затраты составили 136285 тыс. руб. В случае установки нового генерирующего оборудования затраты на ремонт и обслуживание заметно сократятся. При повышенных потерях тепла через стены топочной камеры и конвективной шахты снижается коэффициент полезного действия котла, так как уменьшается доля тепловосприятия поверхностей нагрева.

При переходе на парогазовую технологию выработки электрической энергии на станции, КПД системы может достигнуть не менее 50 %, т.е. прирост составит уже 15 %. Парогазовая система может обеспечить возможность сжигания природного газа в газовой турбине, а ВЭР – в котле-утилизаторе. КПД принимается более низким (50 %) от стандартного оборудования, поскольку предлагаемая система в паротурбинной части будет обеспечивать сжигание низкокалорийного газа, что приведет к большим тепловым потерям котла-утилизатора с уходящими газами.

В этом случае экономия топлива составит:

  - природный газ –  $418279 \text{ тыс. м}^3 \cdot 0,15 = 62741,85 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ ;

  - доменный газ –  $1255710 \text{ тыс. м}^3 \cdot 0,15 = 188356,5 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ ;

  - коксовый газ –  $239916 \text{ тыс. м}^3 \cdot 0,15 = 35987,4 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ .

Финансовая экономия при данном варианте электростанции может составить:

$$\Xi = 62741,85 \cdot 3063 + 188356,5 \cdot 365 + 35987,4 \cdot 1400 = 311310,8 \text{ тыс. руб./год}$$

В случае принятия решения о дальнейшей эксплуатации прежнего котельного оборудования электростанции, экономический эффект может быть получен от восстановления газоплотности котлов и восстановления тепловой изоляции. Первое мероприятие может привести к значительному снижению притоков воздуха, что снизит требуемую мощность, затрачиваемую на привод дымососов на каждом котельном агрегате. Второе мероприятие может сократить тепловые потери каждого котла на 0,4-0,7 %.

## РЕЦИКЛ ХРОМАТНЫХ ШЛАМОВ В ПРОИЗВОДСТВО ХРОМОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Антипов А.С., Низов В.А.

УрФУ, [lexrus91@bk.ru](mailto:lexrus91@bk.ru); [sfkatyshev@mail.ru](mailto:sfkatyshev@mail.ru)

На территории РФ соединения хрома получают в Первоуральске и Новотроицке. В обоих случаях заводы имеют шламонакопители, в которые складывают высокотоксичный отход, получающийся при переработке хромитов. Так, по официальным данным, Первоуральский завод за годы эксплуатации накопил около 7,5 млн т шламов, которые представляют собой источник постоянной эмиссии  $\text{Cr}^{6+}$  в окружающую среду; Новотроицкий завод имеет меньшие объёмы отходов, но лишь по причине более позднего ввода в эксплуатацию по аналогичной технологической схеме. Изначально предпринимались попытки переработки шлама на огнеупоры, однако заводское опробование его показало пониженную стойкость по сравнению с обычным металлургическим доломитом. Кроме того, предлагалось использование шлама в дорожном строительстве, производстве силикатного кирпича и цементной промышленности [2]. Из современных источников информации известны методы утилизации, основанные на обработке шлама серной кислотой [2] и карбонизацией углекислым газом [3]. Серноокислотная обработка неизбежно приводит к усложнению системы за счет образования сульфата кальция. Варианты карбонизации, предложенные УНИХИМОМ, не были детально проработаны из-за отсутствия источника углекислого газа [3]. Следует признать, что проблема переработки шлама хроматного производства не находит удовлетворительного технического решения.

Усредненный компонентный состав хроматного шлама имеет вид, % мас.: 24,0 –  $\text{MgO}$ ; 26 –  $\text{CaO}$ ; 7,1 –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 4,9 –  $\text{SiO}_2$ ; 5,1 –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; общее содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в шламе 6,82 % ( $\text{CrO}_3$  водорастворимый 1,4 %,  $\text{CrO}_3$  кислоторастворимый 0,78 %,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  нерастворимый 5,59 %). Из анализа видно, что шлам содержит большое количество недоизвлечённого хрома, который может быть возвращён в действующее производство. Соединения кальция составляют основу шламовых отходов, причём при длительном хранении первоначальная фаза оксида кальция полностью карбонизируется, что установлено рентгенофазовыми исследованиями, проведенными для разных производственных объектов. Оксид магния по данным этих исследований сохраняется в неизменном состоянии. Дифрактограмма исходного шлама представлена на рис. 1.

При подкислении исходного шлама, карбонат кальция легко разрушается с образованием углекислого газа, который может быть компримирован. При этом остаточный шлам обогащается по оксиду магния, который в слабокислой среде не растворяется. При использовании азотной кислоты образуется хорошо растворимый нитрат кальция, одновременно с ним в раствор переходят кислоторастворимые соединения хрома  $6^+$ . Для перевода соединений кальция в раствор возможно использование и других кислот (например, хлороводородной), однако дальнейшая переработка полученного раствора в действующем производстве будет затруднена. Хром трехвалентный, железо, магний, алюминий преимущественно в форме остаточного хромита остаются в твердой фазе.

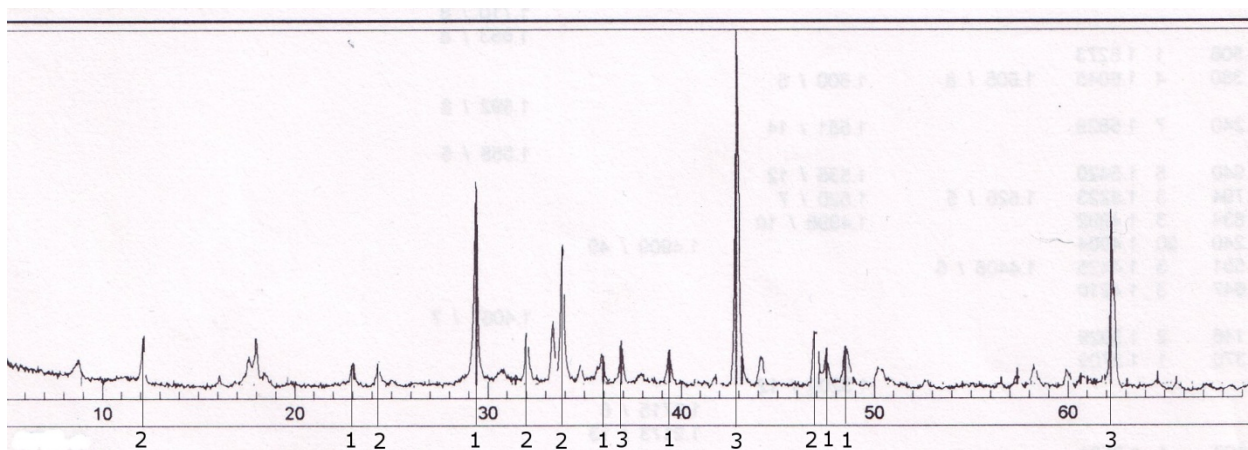


Рис. 1. Дифрактограмма шлама (1– CaCO<sub>3</sub>; 2 – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(CaO)<sub>4</sub>; 3 – MgO)

Избирательная декарбонизация шлама достигается в области, близкой к нейтральной по значению pH. Зависимость изменения значения pH от объемов азотной кислоты, введенных в реакционный объем при перемешивании, представлена на рис. 2.

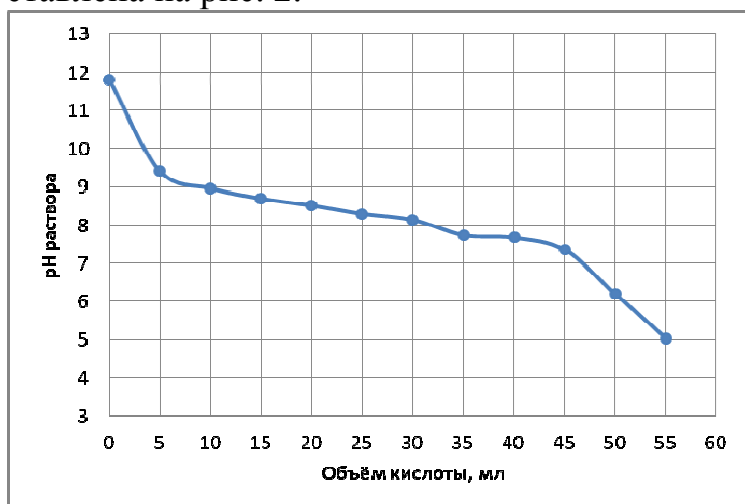


Рис. 2. Зависимость pH раствора от объема вводимой кислоты

После разделения фаз, сульфатизация раствора серной кислотой приводит к выпадению гипса, который после промывки выводится из схемы. Раствор в процессе выделения сульфата кальция регенерируется с образованием азотной кислоты и направляется на декарбонизацию исходного шлама, при этом обогащаясь по Cr<sup>6+</sup>.

После многократного рецикла данного раствора, по мере накопления в нем хрома, он обрабатывается натриевой щелочью или кальцинированной содой и содержит монокромат натрия и нитрат натрия. Раствор может быть использован в качестве натрирующего агента для окислительного обжига твердого остатка [4, 5] или в действующем производстве монокромата натрия.

Таким образом, при реализации представленного технического решения в производственный цикл вовлекается опасный техногенный отход длительного хранения – шестивалентный хром при этом полностью возвращается на производство хромовых солей, а остаточный хромит на окислительный обжиг, кальциевая составляющая, являющаяся основой хроматных шламов, перерабатывается на гипсовое вяжущее, появляется возможность переработки магниевой составляющей на огнеупоры либо другие магниесодержащие продукты.

#### Библиографический список

1. Авербух Т.Д., Павлов П.Г. Технология соединений хрома. Изд. 2-е, испр. Л.: Химия, 1973. 336 с.
2. Патент РФ № 2083497, кл. C01G37/02, C01G37/14, C01F5/24, 1997.
3. Патент РФ № 2281249, кл. C01G37/14, 2006.

4. Антипов А.С., Низов В.А., Катышев С.Ф. Энергоэффективность производства монохромата натрия // Сб. материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых учёных. 18-21 декабря 2012 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 229-230.
5. Патент РФ № 2349552, кл. C01G37/14, 2004.

## **ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТАКТНЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

*Афанасьев К.Ю.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
afalina1@sibmail.com*

Одной из основных проблем энергоресурсосбережения при добыче нефти является сжигание больших объемов попутного нефтяного газа (ПНГ). Таким образом, не используется ценный ресурс, который мог бы эффективно утилизироваться на химических перерабатывающих заводах, а также для выработки электрической энергии.

Согласно постановлению правительства «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» с 2012 года доля полезного использования попутного нефтяного газа должна составить 95 % от добытого объема, а за сверхлимитные объемы его сжигания предусмотрено повышение штрафов в 100 раз [1].

Проведенный литературный обзор [2-4] позволяет выделить различные методы утилизации ПНГ, основными из которых являются переработка по газонефтехимическому профилю, а также использование в газотурбинных установках для выработки энергии на собственные нужды и для эксплуатации газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов.

Переработка ПНГ на сегодняшний день является довольно перспективным направлением. Данный метод предполагает строительство крупных газоперерабатывающих заводов и значительной модернизации уже имеющихся, совместно с разветвленной сетью газопроводов для сбора и доставки попутного газа. На химических предприятиях ПНГ перерабатывается либо в сухой отбензиненный газ, либо в широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ), которые поступают в магистральные газопроводы и являются важным сырьем для нефтехимической отрасли (например, ШФЛУ – базовое сырье для производства сжиженного углеводородного газа [2]).

Необходимо отметить, что реализация предложенной технологии требует значительных материальных и временных затрат, таким образом ее использование, экономически эффективно лишь на крупных месторождениях. Основные потери попутного нефтяного газа, то есть его сжигание на факелах, формируются не на крупных, а в основном на мелких, малых и средних месторождениях, которые удалены друг от друга на значительные расстояния, находятся в регионах со слабо развитой инфраструктурой, или их географическое местопо-

жение указывает на наличие неустойчивых грунтов (болотистая местность). Так, большинство новых месторождений, разрабатываемых в северных регионах РФ (территории Западной, Восточной Сибири, республика Саха, Дальневосточный Федеральный округ), имеют все перечисленные особенности. Поэтому организация сбора газа с таких месторождений по схемам, предложенным для строительства крупных газоперерабатывающих заводов, является весьма капиталоемким и неэффективным мероприятием.

Также большое значение в последнее время имеет внедрение различных методов интенсификации добычи нефти путем повышения проницаемости пород, основными из которых являются:

- химические;
- механические;
- термические;
- физические.

Подробнее остановимся на термических методах воздействия, которые применяют для удаления со стенок поровых каналов парафина и смол, а также для интенсификации химических методов обработки призабойных зон [5].

Обычно термообработка нефтяных пластов в зоне добывающих скважин осуществляется водой, нагретой в котлах высокого давления, для эксплуатации которых требуется применение массивных водоподготовительных опреснительных установок, чтобы избежать накипеобразования на стенках котла.

Литературный обзор [6, 7] показал, что основным недостатком такого способа являются высокие капитальные затраты на сооружение опреснительной установки, а также большой расход теплоты пара на выработку пресной воды.

Также к термическим методам относится применение электротепловой обработки призабойных зон, при которой в скважину на кабель-тросе спускают электронагреватель, состоящий из трубчатых электронагревательных элементов (ТЭНов), заключенных в перфорированном кожухе [7]. Недостатком данного метода является необходимость в дополнительной электрической энергии.

Таким образом, оптимальным решением для термической обработки является испарительный аппарат, который может работать на попутном нефтяном газе и не требует предварительной подготовки воды.

В ходе анализа различных конструкций испарительных установок было установлено, что аппарат погружного горения (АПГ) обладает необходимыми преимуществами.

Высокая интенсивность процессов теплообмена в АПГ и отсутствие трубных элементов определяет малую металлоемкость конструкции. Масса АПГ тепловой мощностью 10 МВт составляет 10 т, что практически на порядок меньше массы аналогичного котла. Также для АПГ характерны меньшие капиталовложения и текущие затраты.

Из-за того, что через барботажную решетку АПГ газообразные продукты сгорания впрыскиваются в воду, решетка не подвержена загрязнению и для АПГ не требуется водоподготовка в отличие от поверхностных теплообменников.



Итак, по сравнению с другими видами выпарных установок, АПГ обладают следующими преимуществами:

1. Полное исключение проблемы борьбы с отложением накипи при нагреве воды.
2. Возможен нагрев больших объемов воды без предварительной водоподготовки.
3. Высокий термический КПД и экономичность.
4. Относительная простота конструкции.
5. Малая материалоемкость, низкие удельные расходы топлива, относительно низкие капиталовложения и эксплуатационные издержки по сравнению с другими использующими топливо теплообменными аппаратами.
6. Простота в эксплуатации, обслуживании и ремонте.
7. Наличие в жидкости растворенных веществ, минеральных масел, взвесей, кристаллов и других загрязнений обычно не вызывает затруднений и не оказывает влияния на работоспособность АПГ.
8. АПГ взрывобезопасен и не подлежит котлонадзору [8].

Также стоит отметить, что при отсутствии необходимости термической обработки скважин АПГ может с легкостью использоваться в качестве эффективного и простого водонагревателя, используемого для отопления и ГВС на месторождении.

Все перечисленные преимущества приобретают еще большую роль, когда речь идет о труднодоступном месторождении, где простота конструкции, легкость эксплуатации и независимость от внешних энергетических источников играют важнейшую роль. Исходя из этого, можно сделать вывод, что переработка ПНГ в аппаратах погружного будет оптимальной для районов со слабой инфраструктурой и местах, где требуется применение термической интенсификации добычи нефти.

#### *Библиографический список*

1. Постановление Правительства РФ от 08.01.2009 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках».
2. Новиков А.А., Чухарева Н.В. Анализ эффективности переработки попутного нефтяного газа при промышленном транспорте скважинной продукции // Нефтегазовые технологии. 2007. № 1. С. 2–6.
3. Фейгин В.И. Исследование состояния и перспектив направлений переработки нефти и газа, нефте- и газохимии в РФ. М.: Экон-информ, 2011. 806 с.
4. Антипов В.Н. Утилизация нефтяного газа. М.: Недра, 1983. 160 с.
5. Гиматулинов Ш.К. Эксплуатация и технология разработки нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1978. 356 с.
6. Алабовский А.Н., Удыма П.Г. Аппараты погружного горения. М.: Изд-во МЭИ, 1994. 255 с.
7. Антонова Е.О., Крылов Г.В., Прохоров А.Д., Степанов О.А. Основы нефтегазового дела. М: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. 307 с.
8. Материалы сайта НПО «Энергомашавтоматика» [Электронный ресурс] URL: <http://nproema.ru/> (дата обращения 10.10.13).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТА ПОГРУЖНОГО ГОРЕНИЯ ПРИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИИ СТОЧНЫХ ВОД

*Афанасьев К.Ю.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*afalina1@sibmail.com*

Природные водоемы представляют собой сложные экологические системы существования биоценоза, которые создавались в течение долгих лет эволюции. При этом водоемы выполняют не только роль сборников, в которых вода усредняется по качеству, но и являются средой, в которой непрерывно протекают процессы изменения состава примесей. Постоянный процесс приближения состава примесей к равновесию может быть нарушено в результате многих причин, но особенно в результате сброса сточных вод.

При рассмотрении различных направлений защиты окружающей среды наиболее перспективными стоит считать попытку создания бессточных технологических производств, а также разработку и внедрение систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы [1].

Многие сточные воды промышленных предприятий могут быть эффективно утилизированы лишь термическим методом.

Наиболее подходящие для выпаривания сточных вод испарительные установки условно можно разделить на установки, в которых раствор контактирует с поверхностью нагрева и установки, в которых раствор не контактирует с поверхностью нагрева. В установках первого типа образуются отложения солей с соответствующим снижением плотности теплового потока и производительности установок. При этом неизбежны периодические остановки на чистку поверхности нагрева, снижающие технико-экономические показатели и усложняющие эксплуатацию установок. Степень концентрирования раствора в них существенно ограничена из-за резкого увеличения отложений с ростом концентрации раствора [2].

Одним из путей уменьшения отложения солей на поверхностях нагрева установок концентрирования минерализованных вод является использование контактных аппаратов [3]. При этом, применяя контактные испарители, к которым относится аппарат погружного горения (АПГ), появится возможность не только очистить стоки и направить их в систему оборотного водоснабжения, но и получить высококонцентрированный вторичный продукт для дальнейшей реализации. Так, из сточных вод водоподготовительных установок теплоэнергетических станций возможно получение сульфата натрия, из стоков электрообессоливающих установок нефтеперерабатывающих заводов – хлорид натрия, из сточных вод кожевенного производства – хром и т.д. [4].

Включение АПГ в состав оборудования технологической схемы промышленного предприятия позволит решить такие задачи как:

- снизить сброс загрязненных сточных вод в природные водоемы и пруды-накопители шлама;

- сократить потребление свежей воды из природных источников;
- создать благоприятные санитарно-гигиенические условия на электростанции;
- регулировать расход воды в системах оборотного водоснабжения за счет стабильности параметров;
- снизить капитальные затраты на установку очистных сооружений;
- получить экономический эффект [4].

Стоит отметить, что основным недостатком АПГ считается необходимость в топливе для эксплуатации погружной горелки. Таким образом, актуальным вопросом является анализ различных методов снижения потребления природного газа для нужд рассматриваемого контактного испарителя.

В ходе работы был проведен анализ зависимости эксплуатационных показателей АПГ производительностью 5 м<sup>3</sup>/ч при применении пяти различных видов газа, а также использовании балластирования воздуха в зоне горения.

Рассмотренные природные и попутные газы представлены в таблице.

Газы, рассмотренные в качестве топлива для АПГ

| № | Наименование          | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | N <sub>2</sub> |
|---|-----------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|----------------|
| 1 | Саратов-Москва        | 90,29           | 2,8                           | 1,1                           | 0,75                           | 0,34                           | 0,2                            | 0,32            | 0                | 4,2            |
| 2 | Уренгой-Ужгород       | 98,9            | 0,12                          | 0,01                          | 0,01                           | 0                              | 0                              | 0,06            | 0                | 0,9            |
| 3 | Бухара-Урал           | 94,24           | 3                             | 0,89                          | 0,39                           | 0,17                           | 0,13                           | 0,28            | 0                | 0,9            |
| 4 | ПНГ Безенчук-Чапаевск | 42,7            | 19,6                          | 12,6                          | 5,1                            | 1,3                            | 0                              | 1               | 0,8              | 16,9           |
| 5 | ПНГ Туймазы-Уфа       | 50              | 22                            | 9,8                           | 1,2                            | 0,4                            | 0                              | 0               | 0                | 16,6           |

Результаты исследования представлены на рис. 1–2.

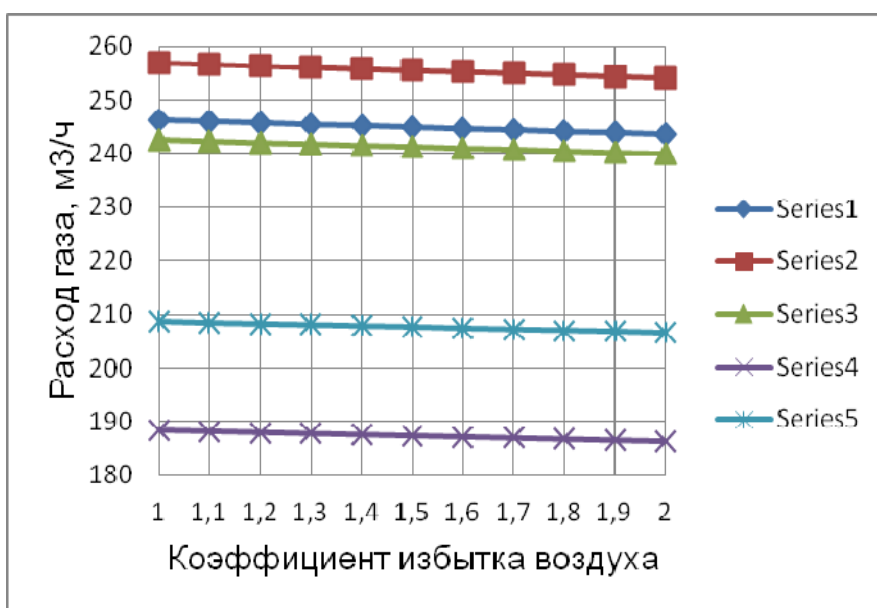


Рис. 1. Зависимость расхода газа от коэффициента избытка воздуха

Как видно из полученных зависимостей, наименьшему расходу газа соответствует использование попутных нефтяных газов. При использовании балластирования в зоне горения расход газа уменьшается на 2–3 м<sup>3</sup>/ч, в то время как расходы вентиляционного оборудования существенно увеличиваются вследствие повышения расходов воздуха, а температура сжигания снижается практически в два раза.

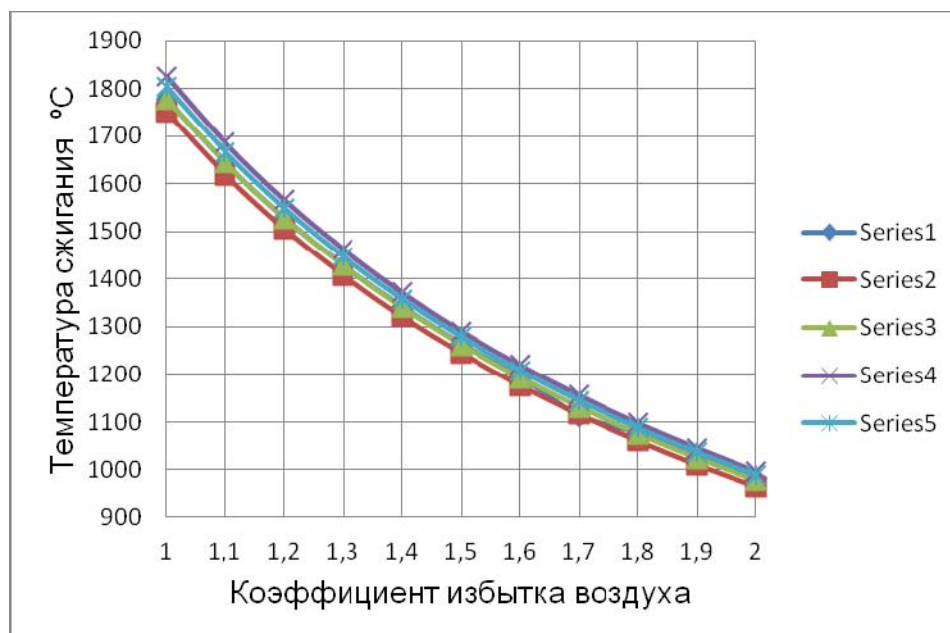


Рис. 2. Зависимость температуры сжигания от коэффициента избытка воздуха

Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение балластирования существенно влияет на температуру сжигания, но не дает существенной выгоды за счет снижения расхода газа. Также стоит отметить эффективность использования АПГ на нефтяных месторождениях, где имеется попутный нефтяной газ, обладающий по сравнению с природным газом большей теплотой сгорания и меньшей стоимостью.

#### *Библиографический список*

1. Защита биосферы от промышленных выбросов / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. М.: КолосС; Химия, 2005. 387 с.
2. Таубман Е.И. Термическое обезвреживание минерализованных промышленных сточных вод. Л.: Химия, 1975. 208 с.
3. Афанасьев К.Ю. Сравнительный анализ методов обессоливания стоков водоподготовительной установки ТЭЦ // Современные техника и технологии: Тр. XVIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 3. Томск: ТПУ, 2012. С. 155–156.
4. Аппараты погружного горения / А.Н. Алабовский, П.Г. Удыма. М.: Изд-во МЭИ, 1994. 255 с.
5. Афанасьев К.Ю. Вариант термического обезвреживания сточных вод энергетических предприятий // Наука и инновации в технических университетах: Материалы VI Всероссийский форум студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 120–121.

## МЕДНЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ШЛАК – МИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА В СОСТАВЕ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ

*Афанасьева М.А., Капустин Ф.Л., Пьячев В.А.  
УрФУ, m.a.afanasyeva@mail.ru*

Медные шлаки образуются в качестве попутного продукта при выплавке медных и колчеданных руд, а также при переплавке медного лома. После грануляции они в основном складываются на отвале, загрязняя окружающую среду, и частично используются в составе сырьевой смеси портландцементного клинкера на некоторых цементных заводах, а также для получения абразивного порошка. Он имеет высокую плотность и твердость, состоит в основном из стекла, фаялита и магнетита.

Исследованиями показано, что медный гранулированный шлак (МГШ) можно использовать при помоле общестроительных цементов в качестве минеральной добавки в количестве 10-20 % без существенного снижения активности цементов [1, 2]. В портландцемент рекомендуется вводить не более 10 % шлака, так как прочность вяжущего уменьшается на 7-8 %. При более высоком содержании добавки прочность цемента снижается прямо пропорционально ее количеству, что указывает на низкую гидравлическую активность МГШ. При пропаривании цементы с добавкой шлака твердеют значительно эффективнее и по прочности практически не уступают твердеющему в этих условиях бездобавочному цементу. Оптимальное содержание шлака при этом составляет 20 %. В соответствии с ГОСТ 31108-2003 в состав общестроительных цементов для улучшения технологии помола или физико-механических свойств допускается введение вспомогательного компонента минеральной добавки в количестве до 5 %.

Цель исследовательской работы – установить возможность использования МГШ в качестве вспомогательного компонента минеральной добавки при помоле цементов общестроительного назначения.

Для получения цементов использовали клинкер ЗАО «Невьянский цементник», доменный гранулированный шлак (ДГШ) 2 сорта ОАО «Мечел» и зола-уноса (ЗУ) Рефтинской ГРЭС – в качестве основных минеральных добавок, МГШ ОАО «Святогор» – в качестве вспомогательного компонента, гипсоангидритовый камень Ергачинского месторождения – для регулирования схватывания цементов.

Исследована размалываемость МГШ в сравнении с портландцементным клинкером, ДГШ и гипсоангидритовым камнем. Установлено, что медный шлак размалывается значительно труднее. Так при тонкости помола 5 % продолжительность измельчения МГШ больше на 20 и 40 % по сравнению с доменным шлаком и клинкером, соответственно, и в 2,5 раза в сравнении с гипсовым камнем.

Подобраны одиннадцать составов общестроительных цементов пяти типов с добавкой МГШ в количестве 5 % в качестве вспомогательного компонента минеральной добавки вместо клинкера (табл. 1).

Состав исследованных цементов

| Номер состава | Вид цементов                            | Тип цементов | Вещественный состав, мас. % |      |    |     |      |
|---------------|---|--------------|-----------------------------|------|----|-----|------|
|               |   |              | Клинкер                     | ДГШ  | ЗУ | МГШ | Гипс |
| 1             | Портландцемент                          | ЦЕМ I        | 100                         | -    | -  | -   | 4    |
| 2             |   |              | 95                          | -    | -  | 5   | 4    |
| 3             | Портландцемент с минеральными добавками | ЦЕМ II/A-III | 85                          | 15   | -  | -   | 4    |
| 4             |   |              | 80                          | 15+5 | -  | -   | 4    |
| 5             |   |              | 80                          | 15   | -  | 5   | 4    |
| 6             | Шлакопортланд-цемент                    | ЦЕМ III/A    | 60                          | 40   | -  | -   | 4    |
| 7             |   |              | 55                          | 40   | -  | 5   | 4    |
| 8             | Пуццолановый цемент                     | ЦЕМ IV/A     | 75                          | -    | 25 | -   | 4    |
| 9             |   |              | 70                          | -    | 25 | 5   | 4    |
| 10            | Композиционный цемент                   | ЦЕМ V/A      | 70                          | 15   | 15 | -   | 4    |
| 11            |   |              | 65                          | 15   | 15 | 5   | 4    |

Помол цементов проводили в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите № 008 5,7-6,7 %. Установлено, что добавка МГШ ускоряет помол портландцемента состава № 2 по сравнению с составом № 1 при равной дисперсности на 6,8 %, цемента состава № 5 по сравнению с составом № 3 – на 5,3 %. Использование ДГШ в качестве вспомогательного компонента (состав № 4) вместо МГШ ускоряет помол цемента на 6,4 %. Введение медного шлака в состав шлакопортландцемента сокращает продолжительность помола на 1,5 %, пуццоланового цемента – на 9,1 %, композиционного цемента – увеличивает продолжительность помола на 5,3 % при равной дисперсности вяжущих.

Исследование гранулометрического состава цементов показало, что добавка МГШ изменяет их зерновой состав: снижает количество крупных частиц фракции 30-80 мкм и увеличивает содержание более мелких частиц размером менее 30 мкм, что повышает удельную поверхность цементов. Добавка медного шлака незначительно увеличивает содержание  $SO_3$  в цементах. Все цементы удовлетворяют требованиям ГОСТ 31108-2003 по началу схватывания (табл. 2). Прочность цементов определяли через 7 и 28 сут. твердения образцов в воде, а также после пропаривания. Установлено, что добавка МГШ уменьшает прочность, как при нормальном твердении, так и после пропаривания, как при изгибе, так и при сжатии, что указывает на отсутствие гидравлической активности шлака, т.е. МГШ является наполнителем. Добавка МГШ в ранние сроки твердения снижает предел прочности при сжатии цементов в меньшей степени, чем в поздние сроки. Так, прочность при сжатии портландцемента ЦЕМ I через 7 сут. водного твердения уменьшается на 7,5 %, а через 28 сут. – на 12,1 %, у портландцемента ЦЕМ II соответственно – на 23,0 и 10,4 %, шлакопортландцемента типа ЦЕМ III – на 8,5 и 7,4 %, пуццоланового цемента ЦЕМ IV – на 25,2 и 24,8 %, композиционного цемента ЦЕМ V – на 8,7 и 7,0 %. Показано, что

все цементы по прочностным характеристикам удовлетворяют требованиям ГОСТ 31108-2003 (табл. 2).

Таблица 2

Результаты испытаний цементов по ГОСТ 30744-2001

| Номер<br>состава | НГ,<br>мас. % | Сроки<br>схватывания,<br>ч-мин. |       | Предел прочности, МПа,<br>через, сут. |      |            |      | Предел прочности<br>после пропарива-<br>ния, МПа, при |        |
|------------------|---------------|---------------------------------|-------|---------------------------------------|------|------------|------|---|--------|
|                  |               |                                 |       | при изгибе                            |      | при сжатии |      |   |        |
|                  |               | начало                          | конец | 7                                     | 28   | 7          | 28   | изгибе  | сжатии |
| 1                | 25,94         | 2-50                            | 4-00  | 3,66                                  | 7,58 | 22,8       | 40,3 | 3,69  | 27,3   |
| 2                | 25,94         | 3-15                            | 4-30  | 2,95                                  | 7,14 | 21,1       | 35,4 | 3,94  | 24,0   |
| 3                | 26,15         | 2-25                            | 3-40  | 4,97                                  | 7,17 | 23,9       | 36,6 | 4,06  | 26,8   |
| 4                | 26,67         | 2-55                            | 3-30  | 4,86                                  | 6,97 | 19,0       | 35,4 | 4,79  | 30,0   |
| 5                | 27,44         | 3-00                            | 4-00  | 4,35                                  | 6,49 | 18,4       | 32,8 | 3,88  | 22,3   |
| 6                | 25,47         | 1-40                            | 4-00  | 3,34                                  | 5,46 | 12,9       | 24,4 | 4,92  | 28,3   |
| 7                | 25,56         | 2-00                            | 4-20  | 3,13                                  | 5,40 | 11,8       | 22,6 | 4,42  | 26,9   |
| 8                | 30,31         | 2-30                            | 4-00  | 4,07                                  | 6,87 | 15,5       | 31,9 | 5,04  | 33,6   |
| 9                | 29,69         | 2-30                            | 5-10  | 2,74                                  | 5,78 | 11,6       | 24,0 | 5,41  | 28,8   |
| 10               | 28,44         | 2-20                            | 4-10  | 3,95                                  | 5,78 | 13,8       | 25,6 | 4,49  | 27,2   |
| 11               | 27,81         | 2-20                            | 5-20  | 3,08                                  | 4,86 | 12,6       | 23,8 | 4,42  | 26,2   |

Таким образом, показана возможность применения МГШ в качестве:

- минеральной добавки без существенного снижения активности цементов;
- вспомогательного компонента минеральной добавки в составе портландцемента типа ЦЕМ I, шлакопортландцемента типа ЦЕМ III и композиционного цемента типа ЦЕМ V.

#### *Библиографический список*

1. Пьячев В.А. Использование шлаков цветной металлургии в производстве цемента: Обзорная информация. М.: ВНИИЭСМ, 1985. Вып. 1. С. 53.
2. Пьячев В.А. Состав цементов для пропариваемых бетонов / В.А Пьячев, М.Ф. Чебуков, Г.Е. Пьячева // Цемент. 1972. № 11. С. 22-23.

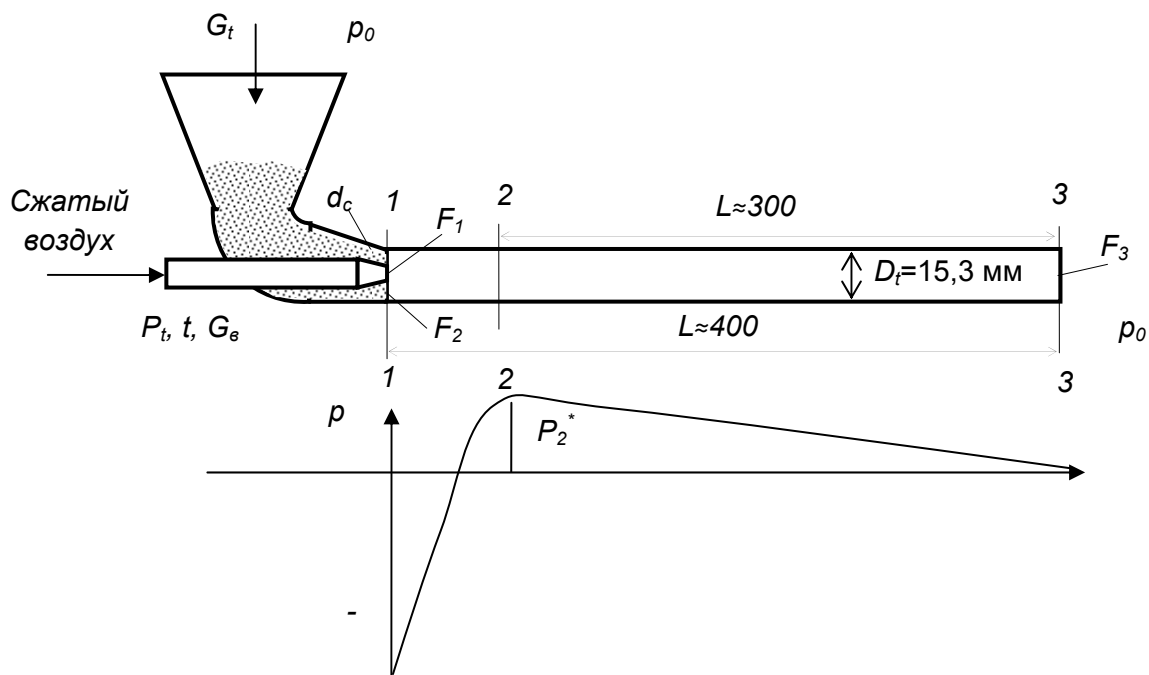
## **ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЖЕКТОРА ДЛЯ ПОДАЧИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Бараковских Д.С., Шишкин С.Ф.  
УрФУ, dimc.bar@gmail.com*

Эжекторы для подачи дисперсных материалов используются в различных устройствах, например, в струйных мельницах, системах пневмотранспорта сыпучего материала, для вдувания дисперсных частиц в печь и т.д. Правильно спроектированный эжектор позволяет получить заданные параметры двухфазного потока и при этом минимизировать расход энергоносителя.

Рассмотрим упрощенную инженерную методику расчета на примере эжектора для подачи оксида циркония в плазмотрон. Необходимая производительность по твердой фазе должна быть до 400 кг/ч.

В качестве энергоносителя используется сжатый воздух с избыточным давлением от 4 до 7 атм. Поэтому в эжекторе используется сверхзвуковое коническое сопло. Для реализации максимальной производительности по твердой фазе примем, что коэффициент эжекции по газу равен нулю, т.е. подсоса дополнительного воздуха не происходит. Такой режим, в частности может быть реализован при работе эжектора под завалом. Расчетная схема струйного насоса представлена и график изменения статического давления по длине разгонной трубки представлены на рисунке. В сечении 2-2 после завершения процесса смешения давление максимально. Полное давление в данном сечении и обеспечивает разгон и транспортировку сыпучего материала.



Расчетная схема эжектора струйного насоса

Если диаметр  $d_k$  критической части сверхзвукового сопла задан, то при известном давлении перед соплом массовый расход воздуха определится по зависимости [1]:

$$G_b = 0,0404 \sigma \frac{P_t F_k}{\sqrt{T}}, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

где  $F_k$  – площадь критического сечения сопла,  $\text{м}^2$ ;  $P_t$  – полное давление перед соплом, Па;  $T$  – абсолютная температура торможения перед соплом, К,  $\sigma$  – коэффициент восстановления полного давления в сопле.

Внутренний диаметр разгонной трубы выбирается из стандартного ряда. Скорость потока должна обеспечивать устойчивый режим транспортирования и заданную производительность. Выберем стандартную трубу DN15, при толщине стенки 3,0 мм, внутренний диаметр  $D=15,3$  мм. При заданном расходе воздуха можно определить производительность струйного насоса по твердой фазе и остальные параметры работы в следующем порядке.

Геометрический параметр эжектора  $\alpha$ , определяется соотношением:

$$\alpha = F_1 / F_2 = F_1 / (F_3 - F_1), \quad (2)$$



где  $F_1$ ,  $F_3$  – соответственно площадь выходного сечения сопла и площадь сечения трубы,  $\text{м}^2$ .

При принятых диаметрах сопла  $d_k = 2$  и трубы  $D = 15,3$  мм  $\alpha = 0,025$ . В этом случае можно определить полное давление в сечении 2-2 по приближенной формуле Абрамовича [1]:

$$P_2^* = \frac{\alpha P_t + p_0}{1 + \alpha}, \quad (3)$$

где  $P_t$  – полное абсолютное давление перед соплом ( $P_t = 6,627$  атм),  $p_0$  – внешнее давление в загрузочной воронке,  $P_2^*$  – полное давление в начале разгонной трубки после камеры смешения.

При принятых и расчетных параметрах  $P_2^* = 1,138$  атм. Таким образом, сопротивление разгонной трубки составляет  $dP = P_2^* - p_0 = 1,138 - 1,0 = 0,138$  атм. Скорость воздушного потока на срезе разгонной трубки определится из уравнения неразрывности

$$w = \frac{G_B}{\rho_{B3} F_3} = \frac{0,0043}{1,204 \cdot \pi \cdot 0,0153^2 / 4} = 19,5, \text{ м/с}. \quad (4)$$

По имеющимся опытным данным, конечную относительную скорость  $j$  можно принять  $j=0,9$ . Тогда скорость частиц на срезе разгонной трубки будет

$$u_3 = w_3 j = 19,5 \cdot 0,9 = 17,5, \text{ м/с}. \quad (5)$$

Сопротивление при пневмотранспорте по горизонтальной трубе можно определить как сумму потерь давления по длине  $dP_L$  и потерь на разгон  $dP_R$  материала [2]. Потери давления по длине  $dP_L$  в условиях пневмотранспорта определяются по зависимости:

$$dP_L = \zeta \frac{L}{D} \rho \frac{w^2}{2} (1 + K\mu), \text{ Па}, \quad (6)$$

где  $\zeta$  – коэффициент сопротивления при движении газа по трубе определяем по формуле Блазиуса;  $L$ ,  $D$  – соответственно длина и диаметр разгонной трубки, м;  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\mu$  – расходная концентрация материала,  $\text{кг/кг}$ ;  $K$  – коэффициент Гастерштадта. На основании опытных данных можно принять  $K=1$ .

Потери давления на разгон материала  $dP_R$  в условиях пневмотранспорта определяются по зависимости:

$$dP_R = \frac{G_t(u_3 - u_1)}{F_3} = \frac{G\mu(u_3 - u_1)}{F_3}. \quad (7)$$

Скоростью частиц в начальном сечении можно пренебречь.

Затем из уравнения (8) находят расходную концентрацию

$$dP = 0,138 p_0 = \zeta \frac{L}{D} \rho \frac{w^2}{2} (1 + K\mu) + \frac{G\mu(u_3 - u_1)}{F_3} \quad (8)$$

Расход твердой фазы определится по зависимости

$$G_t = G_B \mu. \quad (9)$$

Как показывают расчеты по уравнениям (8) и (9), производительность по твердой фазе  $G_t = 406$  кг/ч, расходная концентрация составит  $\mu = 26,18$  кг/кг.

Плотность двухфазного потока через сечение разгонной трубки составит

$$G_{df} = \frac{\sqrt{GG_t}}{F_3} = \frac{G\sqrt{\mu}}{F_3} = 119.8, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2\text{)}. \quad (10)$$

Можно сделать оценку производительности и другим методом.

В работе [3] были проведены исследования по определению параметров эжектирования песка и получена экспериментальная зависимость, связывающая полное давление в начале разгонной трубки после камеры смешения и плотность двухфазного потока:

$$G_{df} = 340.12P_2^{*0.3523}. \quad (11)$$

Расчет по приведенной зависимости, показывает, что плотность двухфазного потока составит  $G_{df}=169,5 \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2\text{)}$ . Это несколько выше результата предыдущего расчета. Объясняется отличие необходимостью определения опытным путем коэффициента Гастерштадта. В целом обе методики согласуются между собой.

#### *Библиографический список*

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: учеб. руководство для вузов: в 2 ч. / Г. Н. Абрамович. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1991. 600 с.
2. Шишкин А.С. Решение инженерных задач в Excel: учебное пособие / А.С. Шишкин, С.Ф. Шишкин. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 365 с.
3. Шишкин С.Ф. Процесс эжектирования твердых частиц в струйной мельнице: Доклад на международной научно-технической конференции «Физико-химия и технология оксидно-силикатных материалов» / С.Ф. Шишкин, А.С. Шишкин // Вестник УГТУ (Екатеринбург). 2000. № 1. С. 230-233.

## **СИНТЕЗ АЛЮМОМАГНЕЗИАЛЬНОЙ ШПИНЕЛИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ**

*Баяндина М.А., Баяндина Т.В., Земляной К.Г.  
УрФУ, bmasha07@mail.ru*

Отходы производства вторичного алюминия (ОПВА) – это продукт переработки отвальных шлаков, образующихся при плавке вторичного алюминия. Перерабатывают отвальные шлаки с целью извлечения из него металлического алюминия. После извлечения металлического алюминия образуются тонкодисперсные отходы, которые складывают в отвалы из-за отсутствия рациональной технологии утилизации. Таких отходов только в Российской Федерации накопилось около 50 млн т, а на Урале – почти 2,5 млн т.

Отвалы занимают сотни гектаров плодородных земель. Под воздействием атмосферных осадков тонкодисперсные отходы быстро разлагаются, выделяя токсичный газ – аммиак, а соли, содержащиеся в них, растворяясь, загрязняют почву, поверхностные и подземные воды. Тонкодисперсные частицы отходов легко поднимаются ветром и переносятся на значительные расстояния, загрязняя как атмосферу, так почву и водоемы. Это наносит экологический вред окружающей среде и экономический ущерб России за счет отчуждения больших площадей земли и потерь ценного минерального сырья.

ОПВА являются достаточно ценным сырьем, так как содержат большое количество оксида алюминия. Содержание оксида алюминия в ОПВА достигает 60 %, поэтому ОПВА можно рассматривать как сырье для огнеупорной промышленности, а именно, как источник оксида алюминия для синтеза алюмомагнезиальной шпинели.

В настоящей работе были исследованы отходы производства вторичного алюминия, образующиеся при вторичной переработке алюминий-содержащих шлаков Сухоложского завода «Вторцветмет».

Отходы производства вторичного алюминия представляют собой порошок серого цвета, гранулометрический состав которого представлен в основном частицами размером менее 0,063 мм. Химический состав ОПВА приведен в таблице.

Усредненный химический состав ОПВА

| Массовая доля компонентов, % |      |            |                                      |                                |                  |      |      |                                |                   |
|------------------------------|------|------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|--------------------------------|-------------------|
| Al <sub>мет</sub>            | AlN  | NaCl + KCl | Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO  | CaO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Δm <sub>прк</sub> |
| 2,74                         | 2,11 | 14,23      | 5,82                                 | 43,92                          | 9,15             | 4,85 | 2,62 | 0,81                           | 13,75             |

По данным рентгенофазового анализа, ОПВА представлены хлоридом калия KCl (d, Å: 3,15; 2,22, хлоридом натрия NaCl (d, Å: 2,83; 2,00; 1,630; 1,264), гиббситом Al(OH)<sub>3</sub> (d, Å: 4,85; 2,43; 1,92; 1,574), корундом α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 3,47; 2,55; 2,09; 1,602; 1,371), алюмомагнезиальной шпинелью MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 2,02; 1,556; 1,428), алюминием металлическим (d, Å: 2,33; 1,221), β-глиноземом (d, Å: 3,66; 1,153), γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 2,38; 1,817), алюминатом натрия Na<sub>2</sub>O·11Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 3,27).

Электронно-микроскопическими исследованиями подтверждено наличие хлоридов калия и натрия, корунда, металлического алюминия, алюмомагнезиальной шпинели, β-глинозема, а также были определены кварц, углеродсодержащие частицы.

Химический и минеральный состав ОПВА показывает, что наряду с оксидом алюминия, ОПВА содержит до 20 % соединений щелочных металлов, что препятствует их утилизации. Удалить соединения щелочных металлов можно гидрометаллургическим (выщелачиванием) или пирометаллургическим способами.

Гидрометаллургическим способом невозможно снизить содержание хлоридов щелочных металлов менее 0,5 %, а щелочных оксидов – менее 3 %. Такое содержание щелочных оксидов неприемлемо для получения огнеупорных материалов.

Пирометаллургический способ позволяет полностью удалить хлориды щелочных металлов из ОПВА, но снизить содержание оксидов щелочных металлов менее 3 % не удастся, т.к. при термообработке ОПВА образуется β-глинозем, наличие которого подтверждено методами рентгенофазового и петрографического анализов. Снизить содержание оксидов щелочных металлов

невозможно без разрушения кристаллической решетки  $\beta$ -глинозема. Для ее разрушения необходимо введение в шихту основных оксидов. Наиболее благоприятной добавкой является каустический магнезит в количестве более 25 %. Это обеспечивает не только разрушение кристаллической решетки  $\beta$ -глинозема, но и образование алюмомагнезиальной шпинели.

При обжиге ОПВА с каустическим магнезитом протекают следующие процессы: при температуре 900 °С начинается образование алюмомагнезиальной шпинели; в интервале температур 900-1300 °С отмечается полное удаление хлоридов щелочных металлов; основное количество шпинели образуется в интервале температур 1300-1680 °С; процесс шпинелеобразования заканчивается при 1680 °С.

Процесс шпинелеобразования с предварительно отмытыми от солей ОПВА, как показали исследования, начинается при температуре 1100 °С, а завершается при температуре 1850 °С. Следовательно, наличие хлоридов щелочных металлов в ОПВА оказывает положительное влияние на процесс шпинелеобразования, снижая температуру синтеза алюмомагнезиальной шпинели.

Таким образом, пирометаллургический способ позволяет совместить удаление соединений щелочных металлов с синтезом алюмомагнезиальной шпинели в присутствии добавки каустического магнезита. Проведенные исследования показали, что на основе отходов производства вторичного алюминия и каустического магнезита можно синтезировать алюмомагнезиальную шпинель. Это позволит расширить минерально-сырьевую базу огнеупорной промышленности и улучшить экологическую ситуацию в Уральском регионе.

## **ОБРАБОТКА ХИМИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

*Беляев М. А., Царев Н. С.  
УрФУ, nstzar@gmail.com*

Цветная металлургия является одной из наиболее материало- и энерго-емких отраслей промышленности, поэтому проблема ресурсосбережения является весьма актуальной. Сточные воды, образующиеся практически во всех производственных процессах, представляют собой важный вторичный материальный ресурс, использование которого в конечном итоге позволяет сократить расход свежей воды в масштабах металлургических предприятий. Кроме того, сточные воды некоторых технологий содержат ценные примеси, извлечение которых различными способами обогащает номенклатуру выпускаемой предприятиями продукции.

В данной работе нами рассмотрены особенности нейтрализации и очистки химически загрязненных сточных вод процессов получения магния, титана, ниобия и тантала.

При переработке карналлита, лопарита, пирохлора и других минералов осуществляют очистку технологических газов от хлора ( $\text{Cl}_2$ ), хлороводорода ( $\text{HCl}$ ), фосгена ( $\text{COCl}_2$ ), оксида углерода ( $\text{CO}$ ), диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и дру-

гих вредных примесей. В результате орошения этих газов в скрубберах водой и суспензией известкового молока образуются два типа производственных сточных вод:

1) Сточные воды, содержащие соляную кислоту, взвешенные вещества, соединения тяжелых металлов – железа, меди, марганца, никеля, хрома, цинка и легких металлов – алюминия, кальция, калия, магния и титана.

2) Сточные воды, содержащие взвешенные вещества, гидроксид, карбоната и хлорид кальция, соединения тяжелых и легких металлов.

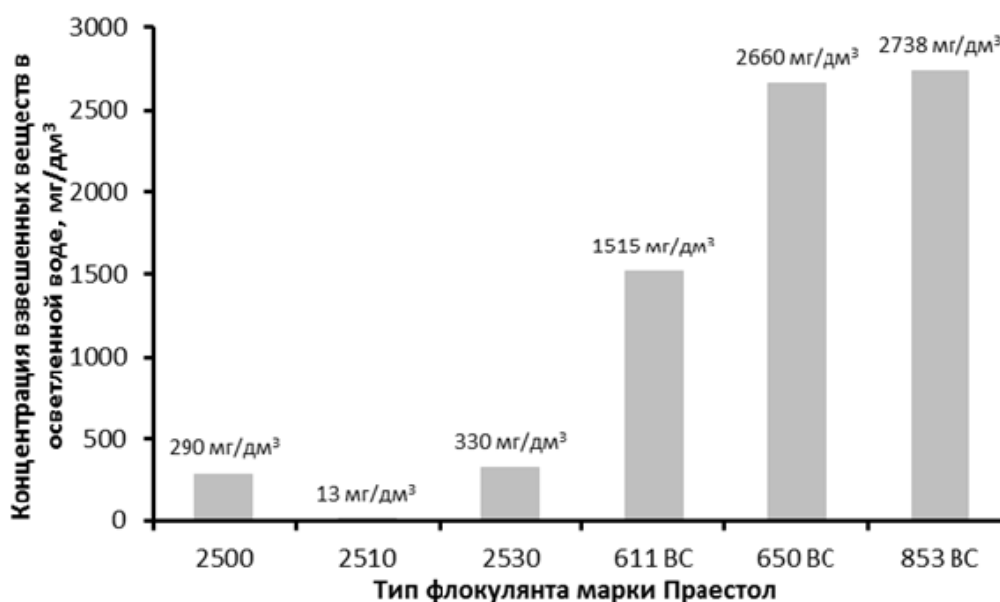
Целью наших исследований стала разработка технологии взаимной нейтрализации данных сточных вод и очистки их от взвешенных веществ. Характеристика рассмотренных производственных сточных вод представлена в таблице.

Характеристика сточных вод газоочистных установок

| Источник образования сточных вод                                | Водная очистка газов вращающихся печей обезвоживания карналлита и электролизеров магния | Известковая очистка газов установок получения соединений титана, ниобия и тантала |
|---|---|---|
| Метод предварительного обезвреживания сточных вод               | –   | Термическое обезвреживание от активного хлора                                     |
| Водородный показатель, ед. pH                                   | 2,63  | 12,06   |
| Концентрация взвешенных веществ, г/дм <sup>3</sup>              | 1,6   | 34,7  |
| Сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>                                | 6,5   | 165,5   |
| Общая кислотность, мг-экв/дм <sup>3</sup>                       | 5,9   | –   |
| Содержание активных оксидов кальция и магния, г/дм <sup>3</sup> | –   | 14,4  |

Экспериментально установлено, что для получения значений водородного показателя смеси сточных вод в пределах от 9 до 9,5 ед. pH, при которых достигается нейтрализация соляной кислоты и выделение растворенных металлов в осадок, доза вносимых активных оксидов кальция и магния должна быть около 3 г/дм<sup>3</sup>. Это достигается при смешивании рассматриваемых сточных вод водной и известковой газоочисток в соотношении четыре объема к одному.

После взаимной нейтрализации образуется взвесь, состоящая из сульфата и карбоната кальция, гидроксидов металлов и других нерастворимых веществ, содержащихся в сточных водах. В целях интенсификации процесса осаждения частиц и формирования осадка с более крупными хлопьями применена реагентная обработка воды высокомолекулярными флокулянтами марки Праестол. На рисунке представлено сравнение эффективности использования различных флокулянтов этой марки. Доза флокулянтов – 1 мг/дм<sup>3</sup>.



Сравнение эффективности применения флокулянтов Праестол

Выявлено, что после флокуляционной обработки нейтрализованных сточных вод наблюдается стесненное осаждение частиц дисперсной фазы. При этом имеются существенные различия в динамике процесса отстаивания при использовании флокулянтов различной природы. При обработке воды анионным флокулянтом средней силы Праестол 2510 происходит лучшая агрегация частиц дисперсной фазы с образованием более плотного осадка, занимающего меньший объем. По-видимому, при обработке воды наряду с флокуляцией имеет место реакция с противоположно заряженными веществами сточных вод, вследствие чего образуются менее плотные, но более прочные хлопья, сжимающиеся в дальнейшем интенсивнее.

Наши исследования показывают, что производственные сточные воды содержат медь, хром, марганец, железо, титан и другие металлы. После нейтрализации и очистки воды указанные компоненты будут в форме гидроксидов сконцентрированы в осадке, поэтому он может быть утилизирован. Для разработки технологии обработки осадка нами были выполнены предварительные исследования фильтрационных характеристик осадка.

Установлено, что в зависимости от типа флокулянта, использованного для обработки воды, значения удельного массового сопротивления слоя осадка фильтрованию могут изменяться от  $0,7 \cdot 10^{12}$  м/кг до  $4,3 \cdot 10^{12}$  м/кг. Сопоставляя полученные данные со значениями удельного сопротивления хорошо изученных труднофильтруемых осадков, например, природных вод (от  $7 \cdot 10^{12}$  до  $140 \cdot 10^{12}$  м/кг) или хозяйственно-бытовых сточных вод (от  $5 \cdot 10^{12}$  до  $50 \cdot 10^{12}$  м/кг), можно сделать вывод, что рассматриваемые осадки являются среднефильтруемыми. При этом осадки с наибольшим удельным фильтрационным сопротивлением образуются при обработке воды неионным флокулянтом Праестол 2500, с наименьшим – катионным флокулянтами Праестол 611 BC. Несмотря на это, обрабатывать воду катионными флокулянтами Праестол 611 BC, Праестол 650 BC или Праестол 853 BC не рекомендуется, поскольку выделяю-

щиеся осадки имеют значительный объем (более 50 % от объема очищенной воды) и меньшее содержание твердой фазы (15-26 кг/м<sup>3</sup>).

Таким образом, в результате проведенных исследований получены следующие новые результаты:

1) При осаждении нейтрализованных сточных вод газоочисток наблюдается стесненное осаждение твердой фазы. Для интенсификации процесса седиментации эффективно использовать высокомолекулярный анионный полиэлектролит средней силы Праестол 2510.

2) В результате взаимной нейтрализации и флокуляционной обработки реагентом Праестол 2510 рассматриваемых производственных сточных вод образуется гидроксидный осадок в количестве 24,8 % от объема обработанной воды. Содержание твердой фазы в осадке 33,1 кг/м<sup>3</sup>.

На следующих этапах исследований нами будет более полно определен количественный и качественный состав производственных сточных вод и их осадков, уточнены режимы флокуляционной обработки воды и осадков, оценена глубина выделения соединений металлов при нейтрализации сточных вод, а также разработана технология обезвоживания и утилизации осадка.

## **СИНТЕЗ $\text{CaV}_{0,5}\text{Mo}_{0,5}\text{O}_3$ И ЕГО СТАБИЛЬНОСТЬ В КОНТАКТЕ С ПЕРСПЕКТИВНЫМИ ТВЕРДЫМИ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ**

*Беляков С.А.  
УрФУ, bca2@mail.ru*

Повышение ресурса работы твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) требует понижение их рабочих температур. Один из вариантов достижения этого – использование твердого электролита на основе галлата лантана (LSGM). Однако, никелькерметный анод, развитый для ТОТЭ на основе электролита YSZ (электролита на основе диоксида циркония), не может быть применен из-за его взаимодействия с LSGM. Поиск новых материалов анодов ТОТЭ с LSGM является актуальной задачей, решению которой и посвящено настоящее исследование. Ванадаты и молибдаты кальция со структурой перовскита проявляют высокую электропроводность [1-3], высокую каталитическую активность [4-5]. Смешанные ванадаты/молибдаты кальция показывают повышенную стабильность перовскитной структуры к изменению парциального давления кислорода [4], что позволило говорить об  $\text{CaV}_{0,5}\text{Mo}_{0,5}\text{O}_3$  как перспективном материале анодов [6-7].

Данная работа посвящена получению и аттестации  $\text{CaV}_{0,5}\text{Mo}_{0,5}\text{O}_3$  со структурой перовскита. Синтез данного соединения был выполнен методом Печини из стехиометрического количества следующих реагентов:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  и  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Реагенты растворяли в муравьиной кислоте. Полученный раствор упаривался, а затем сушился при 120 °С в течение суток. Затем проводился отжиг порошка постепенно от 200 до 600 °С, с шагом 100 °С в час. Следующими стадиями был ступенчатый отжиг приготовленной из порошка таблетки при 900 °С, 1100 °С и 1150 °С в восстановительной атмосфере с водоро-

дом. Полученный однофазный продукт был аттестован при помощи РФА, ИК- и КР-спектроскопии.

Было изучено поведение  $\text{CaV}_{0,5}\text{Mo}_{0,5}\text{O}_3$  со следующими твердыми электролитами: электролит на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия  $0,9\text{ZrO}_2\text{-}0,1\text{Y}_2\text{O}_3$  (YSZ), протонный электролит на основе цирконата бария состава  $\text{BaZr}_{0,95}\text{Y}_{0,05}\text{O}_3$  и электролит на основе галлата лантана состава  $\text{La}_{0,88}\text{Sr}_{0,12}\text{Ga}_{0,82}\text{Mg}_{0,18}\text{O}_{2,85}$  (LSGM). Спрессованные таблетки отжигались при температурах от 900 °С до 1150 °С в атмосфере влажного водорода. Полученные образцы исследовались методом РФА. Температуры, при которых начинает наблюдаться взаимодействие  $\text{Ca}(\text{V}_{0,5}\text{Mo}_{0,5})\text{O}_3$  с электролитами, находятся гораздо выше штатных температур эксплуатации ячеек ТОТЭ. Исходя из этих данных, материал может быть предложен, как перспективный анод для ТОТЭ, в первую очередь с электролитом на основе LSGM.

#### *Библиографический список*

1. B.L. Chamberland, P.S. Danielson // J. Solid State Chem. 3 (1971) 243–247.
2. S. Q. Hui, A. Petric // Solid State Ionics 143 (2001) 275–283.
3. Z. Cheng, S. W. Zha, L. Aguilar, M. L. Liu // Solid State Ionics 176 (2005) 1921–1928.
4. R.K. Grasselli // Catal. Today 49 (1999) 141–153.
5. A. Bielanski, M. Najbar // Appl. Catal. A 157 (1997) 223–261.
6. Y.H. Huang, R.I. Dass, Z.L. Xing, J.B. Goodenough // Science 312 (2006) 254–257.
7. A. Aguadero, C. de la Calle, J. A. Alonso, D. Perez-Coll, M. J. Escudero, L. Daza // J. Power Sources 192 (2009) 78–83.

## **ОСАДКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КАК ВТОРИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

*Валенцева Т.А., Царев Н.С., Климаев А.В.  
УрФУ, nstzar@gmail.com*

Одними из вторичных материальных ресурсов предприятий черной металлургии, которым уделяют незаслуженно мало внимания, являются осадки очистных сооружений производственных сточных вод, накапливающиеся в так называемых прудах-отстойниках оборотного водоснабжения.

Пруды-отстойники имеют, как правило, площадь десятки, а иногда и сотни гектаров и глубину 5–7 метров и более. В эти сооружения обычно поступают производственные сточные воды различного состава из большинства цехов и оборотных циклов металлургического комбината или завода.

Целью нашей работы стало определение химического состава осадка, образующегося в результате отстаивания оборотных вод одного из крупнейших предприятий черной металлургии Урала, и оценка возможности его утилизации.

Рассматриваемый осадок формируется в процессе осветления продувочных вод оборотных циклов комбината, производственных сточных вод агломерационной фабрики и производства огнеупорных материалов, поверхностных (дождевых, талых, поливомоечных) и других сточных вод.



Осадок для исследования отбирали из пруда-отстойника с глубины от 1 м до 4,5 м.

Установлено, что осадок залегает неоднородно. По-видимому, это связано с особенностями распределения потоков воды в пруду-отстойнике. При этом влажность осадка, отобранного в различных местах пруда-отстойника на одной и той же глубине, например 2,2 м, может изменяться от 37% до 64 %. Осадок с максимальной влажностью зафиксирован на глубине 1 м.

Величина потерь при прокаливании осадка составляет в среднем 6,8 %. Это свидетельствует о том, что осадок имеет минеральное происхождение.

Плотность твердой фазы рассматриваемого осадка достигает  $3200 \text{ кг/м}^3$ , что значительно превосходит плотность твердой фазы осадков других типов. Так, плотность твердой фазы осадка осветлителей природных вод составляет  $1200 \text{ кг/м}^3$ , а неуплотненного активного ила достигает  $1500 \text{ кг/м}^3$ .

Среднее содержание нефтепродуктов в осадке составляет 0,8 %, максимальное достигает 3 %. Это сопоставимо с осадками производственно-дождевой канализации металлургических заводов.

Содержание металлов в осадке, отобранном в наиболее характерных точках пруда-отстойника, представлено в таблице.

Содержание металлов в осадке пруда-отстойника оборотного водоснабжения металлургического комбината

| Наименование металла | Содержание металлов в твердой фазе осадка в зависимости от места отбора пробы, % масс. |          |          |          |          |
|----------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|                      | 1  | 2        | 3        | 4        | 5        |
| <i>Al</i>            | 1,92521  | 0,07297  | 0,562219 | 0,938148 | 3,569151 |
| <i>Ca</i>            | 13,70907   | 10,51817 | 23,95948 | 19,77936 | 11,32934 |
| <i>Cd</i>            | 0,00388  | 0,024098 | 0,001445 | 0,001359 | 0,003606 |
| <i>Cr</i>            | 0,00804  | 0,035861 | 0,001823 | 0,011758 | 0,013069 |
| <i>Cu</i>            | 0,02521  | 0,034427 | 0,006398 | 0,015096 | 0,04436  |
| <i>Fe</i>            | 25,02000   | 49,39    | 13,99    | 17,39    | 17,8     |
| <i>Hg</i>            | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   | <0,003   |
| <i>K</i>             | 0,17708  | 0,094401 | 0,073485 | 0,104462 | 0,346099 |
| <i>Mg</i>            | 0,84945  | 1,124837 | 2,061619 | 0,647184 | 1,772149 |
| <i>Mn</i>            | 0,28770  | 0,562699 | 0,116443 | 0,156029 | 0,384227 |
| <i>Mo</i>            | 0,00643  | 0,007498 | 0,009804 | 0,00851  | 0,006289 |
| <i>Na</i>            | 0,23741  | 0,260511 | 0,118624 | 0,157738 | 0,471712 |
| <i>Ni</i>            | 0,00656  | 0,00896  | 0,002224 | 0,004318 | 0,007718 |
| <i>Pb</i>            | 0,09537  | 0,197181 | 0,026147 | 0,036763 | 0,131381 |
| <i>V</i>             | 0,02300  | 0,027764 | 0,017087 | 0,01739  | 0,026324 |
| <i>Zn</i>            | 1,46992  | 2,008849 | 0,579457 | 0,773447 | 1,686946 |

На основании результатов химического анализа установлено, что рассматриваемый осадок – это многокомпонентная система, основными составляющими которой являются соединения железа, кальция, алюминия, а также магния и цинка. По содержанию железа исследуемый осадок сопоставим с успешно утилизируемыми осадками очистных сооружений газоочистных устано-

вок агрегатов спекания агломерата, обжига окатышей и доменного производства, содержание железа в которых составляет от 40 % до 55 %.

Таким образом, рассматриваемый осадок может быть утилизирован в качестве добавки к агломерационной шихте. Однако, чтобы осадок можно было направить на переработку, его необходимо подвергнуть механическому обезвоживанию до влажности порядка 10-12 %. Поэтому разработка технологии обезвоживания данных осадков станет следующим этапом нашей научно-исследовательской работы.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

*Вараева Е.А., Церковникова К.С., Аксенов В.И.  
УрФУ, bblka6jiy4a@bk.ru*

Переработка сточных вод ГОК – проблема, актуальная во всем мире, имеющая весьма длинную историю. Практически всегда стоки ГОК – шахтно-рудничные, подотвальные, технологические (дебалансные) – имеют сложный, чаще всего агрессивный, состав: ионы тяжелых металлов; кислоты; остатки реагентов, используемых при обогащении руд. Очистка таких стоков сложна и затратна. Но главное – очищенная вода практически никогда не может быть использована повторно из-за территориального расположения комбинатов и постоянного поступления новых порций стоков. Выход – сброс этой воды в водоем, что вызывает протест контролирующих организаций ввиду низкого качества очищенной воды. При этом нужно четко представлять, что обычными методами получить воду, удовлетворяющую требованиям любого водоема рыбохозяйственного назначения, практически невозможно.

Исследования по разработке технологии обработки шахтных и подотвальных сточных вод, позволяющей провести очистку от примесей до концентраций, удовлетворяющих условиям сброса сточных вод в водоемы питьевого и культурно-бытового назначения, проводились на стоках различных горно-обогатительных комбинатов.

Основной задачей при разработке технологии обработки сточных вод ГОК является снижение их минерализации до предельно допустимых концентраций. Основными примесями являются соединения железа, натрия, меди, цинка, марганца, кальция, магния и других металлов. Чаще всего проблема подбора технологии заключается в удалении соединений сульфатов. Перед нами была поставлена задача организации очистных сооружений ГОК с максимальным использованием свободных площадей и минимальными затратами на капитальное строительство.

На основе экспериментальных исследований предложена технология очистки сточных вод горно-обогатительных комбинатов, имеющих сульфатную агрессивность. В основе технологии лежит отдельная обработка шахтных, дебалансных и подотвальных стоков ввиду их различного минерального состава. В качестве метода выделения из воды примесей принято добавление известкового

молока, при этом рН стоков доводится до 11. Доведение рН до сильнощелочных значений позволяет снизить концентрацию сульфат-ионов до предела растворимости гипса, таким образом, предотвращается зарастание трубопроводов и сооружений. Интенсификация процесса связывания сульфатов в нерастворимые соединения гипса предлагается введением затравки из оборотного осадка.

При повышении рН сточных вод снижается растворимость гидроксидов тяжелых металлов, выделение которых предусматривается путем отстаивания с добавлением флокулянта.

Улучшение качества обрабатываемых стоков предусматривается путем рекарбонизации смеси. С данного этапа потоки обрабатываются совместно. В ходе рекарбонизации рН снижается до 8,0, жесткость до 2,0 мг экв/дм<sup>3</sup>. Углекислый газ рекомендуется получать из выбросов теплотехнических предприятий. После рекарбонизации стоки направляются на пруды-накопители для отстаивания.

Доочистка сточных вод проводится с целью достижения ПДК для водоемов культурно-бытового назначения по основным показателям, токсичным для окружающей среды. В качестве метода доочистки предлагается обработка воды на биоплато, заселенные высшими водными растениями. При необходимости получения воды более высокого качества, соответствующего требованиям для повторного использования на предприятии, необходима дополнительная очистка сточных вод с применением таких дорогостоящих технологий, как термодистилляция, мембранные или сорбционные методы. Но в этом случае необходимо также предусматривать и способы утилизации концентратов, образующихся при применении данных методов.

В ходе обработки стоков по данной схеме выделяется большое количество осадков двух видов: гипсовый (содержание гипса  $\approx 91\%$ ) и карбонат кальция (содержание полезного продукта  $\approx 99\%$ ). В работе исследованы свойства обоих типов осадка, рекомендовано использование в качестве добавки к исходному продукту при производстве строительных материалов.

Недостатком предлагаемой технологии является потребность в больших производственных площадях для устройства биоплато, прудов-накопителей для проведения реакции нейтрализации, прудов-накопителей для отстаивания стоков после рекарбонизации. При этом сточные воды удастся очистить от примесей до ПДК водоемов культурно-бытового назначения без применения дорогостоящих технологий, реагентов высокого класса опасности, методов с образованием токсичных шламов.

При применении предлагаемой технологии для обработки сточных вод ГОК образуется два вида осадка. В процессе перещелачивания получено большое количество осадка, содержащего, главным образом, гипс. В ходе исследования установлено, что данный тип осадка хорошо фильтруется, должен обезвоживаться перед утилизацией. Для этой цели технология предполагает использование фильтр-прессов, рекомендуемая фильтровальная ткань – финская Tamfelt. Далее при рекарбонизации выделяется практически чистый карбонат кальция, который также необходимо утилизировать. Оба типа осадков не явля-

ются токсичными и могут быть утилизированы в качестве добавки к смесям при производстве строительных материалов.

Применение предлагаемой технологии обработки стоков горно-обогатительных комбинатов позволит достигать высокой эффективности очистки с минимальным энергопотреблением, а также предотвратить загрязнение водоемов и почв токсичными шламами и концентратами. Такое решение позволит улучшить экологическую обстановку в районах расположения комбинатов, снизить потребление отрасли водных ресурсов за счет создания оборотных циклов, почвенных ресурсов, которые в настоящее время используются для создания шламонакопителей. Технология протестирована на сточных водах различных ГОК и показала свою эффективность.

#### *Библиографический список*

1. Селицкий Г.А., Ермаков Д.В. Очистка природных сточных вод от сульфатов // Инновационные технологии в системах производственного водоснабжения: Сборник статей. Екатеринбург, 2013. С. 82-93.
2. Технологическая инструкция по обогащению медно-молибденовых руд месторождения Эрдэнэйтин – Овоо на обогатительной фабрике КОО 2. Предприятие «Эрдэнэт», 2008. 180 с.
3. Баглай Е.Б., Баглай С.В., Риянова Э.А. Опыт промышленного сравнения методов очистки сточных вод от сульфат-ионов // Чистая вода России: Сборник статей. Екатеринбург, 2011. С. 218-221.
4. Вдовина И.В. Снижение антропогенной нагрузки на малые реки в зоне влияния горно-рудного промышленного предприятия: на примере Республики Башкортостан: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2009. 24 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ШЛАМОВ РАЗНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

*Васечкина В.А., Ютик А.С., Кузнецова А.А., Герасимова Е.С.  
УрФУ*

Постоянная и эффективная экономия материальных затрат в производстве строительных материалов является важнейшей задачей. Наиболее дорогим и энергоёмким компонентом цементных бетонов и растворов является портландцемент. В связи с этим вопросы его экономии до сих пор остаются актуальными.

Также в настоящее время остаются острыми проблемы утилизации отходов промышленности. В частности, в нашей области ежегодно образуется достаточное количество промышленных отходов, которое весьма существенно влияет на состояние окружающей среды. Решение проблемы экономии цемента можно совместить с решением проблемы утилизации отходов промышленности за счет их введения в состав вяжущего.

Цель работы – изучение влияния шламов различного химического состава на свойства портландцемента. В работе использовали: портландцемент ЦЕМ I 32,5 Н; красный шлам (КШ) и шлам водоподготовки (ШВ) (табл. 1-2).

Таблица 1

## Химический состав красного шлама

| $\Delta M_{\text{прк}},$<br>% | Массовое содержание оксидов, % |                         |                |                |                        |              |              |                       |              |               |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|---------------|
|                               | $\text{Fe}_2\text{O}_3$        | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{MnO}$ | $\text{SO}_3$ |
| 7,80                          | 44,00                          | 16,40                   | 8,80           | 4,60           | 0,96                   | 9,60         | 1,10         | 3,00                  | 0,30         | 2,90          |

Таблица 2

## Характеристика шлама водоподготовки

| Массовое содержание, %   |                          |                      |                |                                   |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------|-----------------------------------|
| $\text{Al}(\text{OH})_3$ | $\text{Fe}(\text{OH})_3$ | $\text{H}_2\text{O}$ | $\text{SiO}_2$ | Органика природного происхождения |
| 60,0                     | 15,0                     | 20,0                 | 2,5            | 2,5                               |

В работе был поставлен полный факторный эксперимент 2<sup>2</sup>. Условия проведения показаны в табл. 3. В качестве факторов было выбрано В/В и количество вводимых шламов.

Таблица 3

## Условия проведения эксперимента

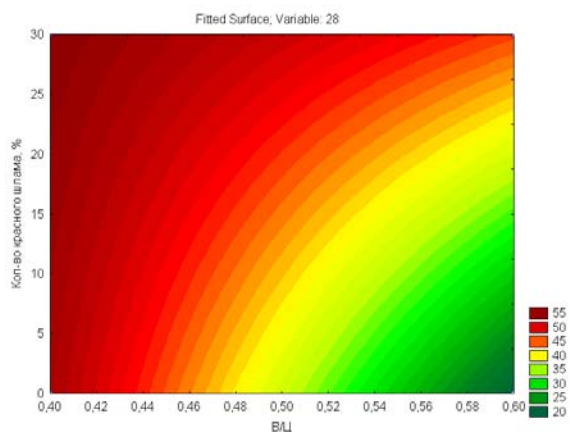
| Наименование фактора                | Символ | Среднее значение фактора | Интервал $X_i$ | Значение на уровнях, % |     |
|-------------------------------------|--------|--------------------------|----------------|------------------------|-----|
|                                     |        |                          |                | +1                     | –1  |
| В/В                                 | $X_1$  | 0,5                      | 0,2            | 0,6                    | 0,4 |
| Количество шлама, %, замена цемента | $X_2$  | 15,0                     | 30,0           | 30                     | 0   |

Выяснили, что введение КШ ускоряет начало схватывания цементного теста в 2-3 раза, также его введение загущает тесто, снижая величину распыла. Введение ШВ наоборот сильно замедляет схватывание и твердение цемента и значительно увеличивает его подвижность. Это может быть связано с повышенным содержанием  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в составе шлама.

Проекция криволинейных зависимостей прочностей цементного камня в возрасте 28 сут. показаны на рис. 1-2. Установлено, что введение КШ не снижает прочности камня при минимальном В/В. Прочность состава, содержащего 30 % КШ достигает 55 МПа, что сравнимо с прочностью нулевого состава. Введение ШВ снижает прочность примерно на 20 %.

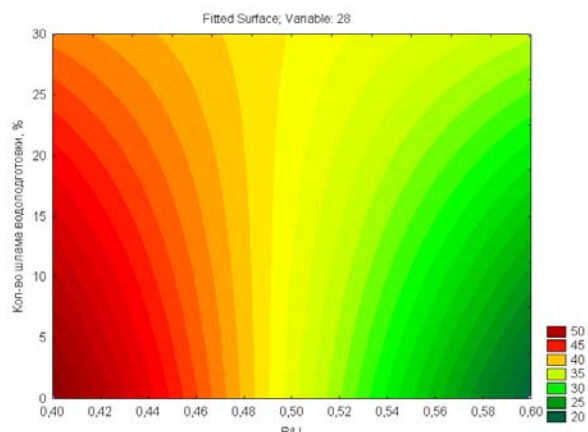
В результате проведения первого этапа работы выяснили, что прочность цементного камня при введении 30 % КШ увеличивается по сравнению с контрольным составом, а при введении шлама водоподготовки образуется область оптимальных составов при расходе шлама менее 30 %. Поэтому для определения оптимального количества шламов с точки зрения прочности был проведен второй этап.

Были заформованы составы, содержащие 30, 40 и 50 % КШ, и 15, 20 и 30 % ШВ. Результаты определения прочности при сжатии в возрасте 28 сут. показаны на рис. 3.



$$Y = 43,538 - 10,988X_1 + 7,108X_2 + 5,733X_1X_2$$

Рис. 1. Проекция криволинейной зависимости прочности цементного камня от количества красного шлама в возрасте 28 суток



$$Y = 37,178 - 10,198X_1 + 0,748X_2 + 6,523X_1X_2$$

Рис. 2. Проекция криволинейной зависимости прочности цементного камня от количества шлама водоподготовки в возрасте 28 суток

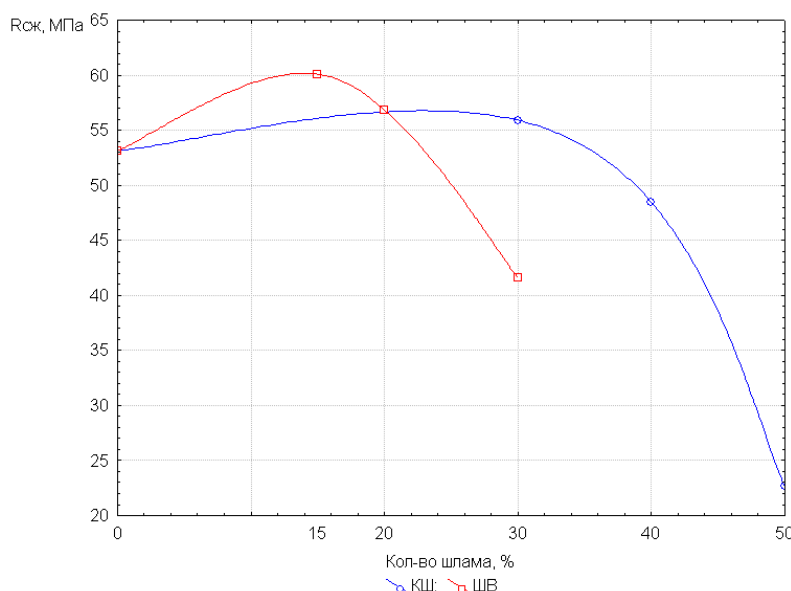


Рис. 3. Зависимость прочности цементного камня от количества шламов в возрасте 28 суток

Можно сделать вывод, что наибольшую прочность цементного камня в 28 суток можно получить при введении 15 % ШВ. Прочность состава с 20 % ШВ сравнима с прочностью контрольного, и равна 56,83 МПа. Видно, что дальнейшее увеличение

содержания КШ более 30 % приводит к снижению прочности цементного камня: при введении 40 % – на 13 %, при введении 50 % – в 2,5 раза.

В результате испытаний было выбрано два оптимальных состава, у которых дополнительно определили водопоглощение и коэффициент размягчения. Их характеристики представлены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики оптимальных составов

| Вид шлама | Кол-во шлама, % | Распływ, см | Начало схватывания | Конец схватывания | $R_{сж}^{28}$ , МПа | $K_p$ | ВП, % |
|-----------|-----------------|-------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------|-------|
| —         | 0               | 0,7         | 4 ч 10 мин         | 8 ч 00 мин        | 53,15               | 0,90  | 12,0  |
| КШ        | 30              | 0,0         | 1 ч 30 мин         | 5 ч 30 мин        | 55,90               | 0,81  | 14,3  |
| ШВ        | 15              | 23,0        | 1 сутки            | 4 суток           | 60,10               | 0,75  | 17,8  |

Введение ШВ значительно увеличивает подвижность цементного теста и его сроки схватывания. Незначительно уменьшается величина коэффициента размягчения, повышается водопоглощение. Характеристики состава с красным шламом практически равны характеристикам нулевого состава, но сроки схватывания сокращаются примерно в 2 раза.

В результате проведенной работы можно рекомендовать только красный шлам в качестве добавки к портландцементу для приготовления смешанного вяжущего. Это позволит сэкономить до 30 % (по массе) портландцемента при производстве строительных изделий и конструкций на основе предлагаемого вяжущего.

## **НЕВЗРЫВНЫЕ РАЗРУШАЮЩИЕСЯ СМЕСИ ИЗ ИЗВЕСТКОВЫХ ОТСЕВОВ**

*Ворсин В.А., Уфимцев В.М.  
УрФУ*

Невзрывные разрушающиеся смеси (НРС) появились на рынке строительной продукции в конце прошлого столетия и на текущий момент пользуются все большим спросом. Они не имеют альтернативы в случае вывода из эксплуатации зданий и сооружений, расположенных в населенной зоне, при демонтаже фундаментов тяжелого оборудования, связанного с его модернизацией. Кроме того, они весьма эффективны при разработке декоративного камня и разделке, так называемого «негабарита», крупноразмерных кусков горной породы, в буровзрывных технологиях разработки минерального сырья для производства цемента, извести и щебня.

НРС представляют собой порошки, образующие при контакте с водой, твердые соединения, объем которых, как минимум, вдвое превышает объем исходной твердой фазы. Водную суспензию НРС заливают в заранее пробуренные скважины диаметром от 24 до 40 мм. Для проявления разрушающего эффекта обычно достаточно 20-24 часа.

Известны два типа НРС, отличающихся по химической природе расширяющей основы средства: сульфатные на основе алюмо-сульфоалюминатов кальция и известковые. Последние отличаются кратким сроками проявления расширения, весьма доступной и дешевой сырьевой базой в виде известняковых отсеков от производства строительной и металлургической извести и потому заслуживают предпочтения.

На текущий момент стоимость качественного НРС японского или швейцарского производства колеблется от 1 \$ до 1 евро. Китайский аналог продается в 4-5 раз дешевле. Из отечественных производителей известен ОАО «ВНИИСТРОМ», расположенный в пос. Красково Московской обл.

Известковые НРС относятся к весьма гигроскопичным материалам и по этой причине не подлежат длительному хранению. По указанной причине они нуждаются в герметичной упаковке и не подлежат длительному хранению.

Известно, что оксид кальция, или известь, отличается уникальным по величине энергетическим потенциалом гидратации – около 1170 КДж на кг СаО. Кроме того, этот процесс сопровождается самодиспергацией кусков извести в порошок, что исключает возможность получения на основе обычной извести достаточно прочных продуктов реакции, способных к разрушению, т.к. образующаяся дисперсия, так называемая «известь-пушонка», при достижении определенного давления в скважине «фонтанирует» наружу.

Принципиальное отличие гидратации НРС от гашения строительной извести в «пушонку» состоит в многократном замедлении гидратации СаО, что достигается повышенной температурой обжига и введением в обжигаемый известняк стабилизирующих присадок, например, щелочей. При этом оксид кальция образует кристаллы размером до 1000 мкм, неспособные к быстрой гидратации, что обеспечивает постепенное уплотнение ее продуктов внутри скважины и, в конечном счете, реализацию разрушающего потенциала известкового НРС.

Выше упомянутые отечественные производители НРС для его получения используют вращающиеся печи, уровень температуры обжига в которых лимитируется возможностями огнеупорной футеровки барабана печи – не выше 1400 °С. В отличие от них на кафедре ТВМиСИ ИММт для получения НРС использован агломерационный обжиг с уровнем температур свыше 1600 °С, что гарантирует высокий уровень термической стабилизации извести. Известно, что интенсивность теплообмена слоевого агломерационного процесса многократно превосходит теплообмен во вращающейся печи. Примерно в такой же пропорции соотносятся их теплоэнергетические возможности, определяющие уровень энергозатрат на обжиг.

На технологию агломерационного НРС в УГТУ-УПИ, ныне УрФУ, получен патент № 2251619 «Способ получения невзрывного разрушающего средства». Возможности агломерационного НРС испытывали в ООО «Сибирский гранитный карьер». Карьер расположен в Восточной промзоне г. Екатеринбурга. Согласно акта, разрушающее усилие, рассчитанное по площади разрыва гранита, превысило 187 МПа/см<sup>2</sup>, что существенно, примерно в 1,5 раза, выше лучших зарубежных аналогов. Однако скорость гидратации агломерационного НРС оказалась значительно ниже, чем у конкурентов.

Для устранения указанного недостатка в известковые отсеивы при помоле вводили сульфатную добавку в количестве до 10 мас. %. Экспериментальные обжиги в лабораторной агломерационной установке с последующим испытанием их продуктов по специальной методике подтвердили возможность существенного ускорения гидратации агломерационных НРС до уровня мировых стандартов. На патентование способа обжига известково-сульфатного НРС подготовлена заявка от УрФУ.

В промышленной агломерационной установке ОАО «Средуралтальк», располагающее мраморными отсеивами, осуществлен промышленный обжиг известково-сульфатного НРС. Полученный продукт массой около 90 кг отличался нормальными сроками гидратации, но, в сравнении с бессульфатным аналогом, имел меньшее разрушающее усилие. Анализ материалов эксперимента устано-



вил, что указанное негативное явление обусловлено избыточными теплотеперьями, связанными с химическим недожогом твердого топлива в составе шихты.

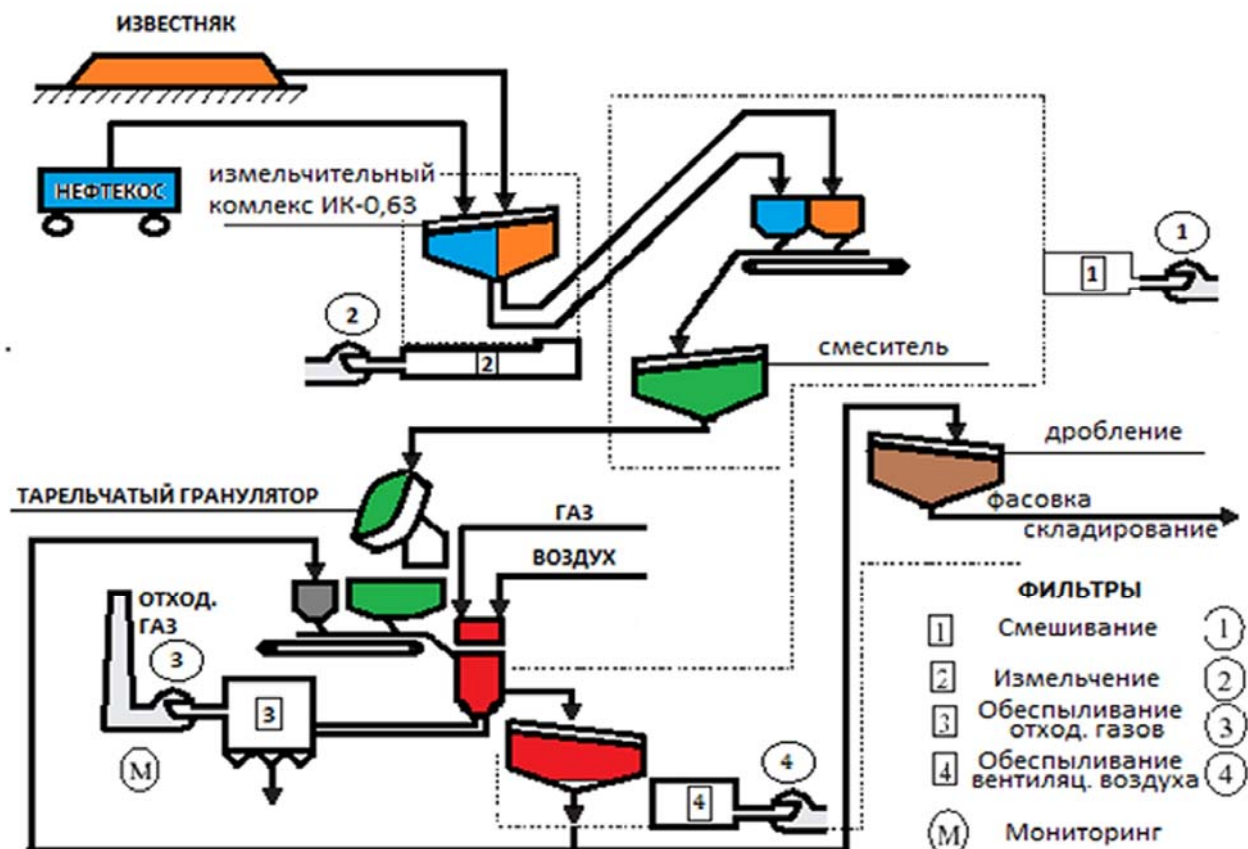


Схема дискретно-поточной линии производства НРС

В дополнение к изложенному выше разработан проект дискретно-поточной линии производства НРС, с ориентировочной производительностью до 3 тыс. т продукта в год (рисунок). Столь высокая производительность достигается совмещением во времени нескольких технологических операций и оптимизацией режима логистики материальных потоков.

#### Библиографический список

1. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: В 2 ч. Минск: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. Ч. 1. 240 с.
2. Лугинина И.Г., Шереметьев Ю.Г., Удалов В.В. Опыт применения экологически чистого невзрывного разрушающего вещества // Цемент и его применение. 1995. № 3-4. С. 36-38.

### ПЕРЕРАБОТКА МНОГОТОННАЖНЫХ ОТХОДОВ АСБЕСТООБОГАТИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (СЕРПЕНТИНИТА) – ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ОКСИДА МАГНИЯ, БЕЛОЙ САЖИ И ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

Габдуллин А.Н., Калиниченко И.И., Вайтнер В.В., Никоненко Е.А.  
УрФУ, gan1105@mail.ru

За многие годы работы асбестообогастительные предприятия отправили в отвалы миллиарды тонн отходов – серпентинита. Данная порода состоит в ос-

новном из минералов группы хризотила: антигорита, лизардита, хризотила. Эти минералы имеют общую формулу  $Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$ . Серпентиниты содержат примерно 40 % оксида магния, 40 % оксида кремния и 10 % оксидов других металлов.

Химический состав отхода (серпентинита) и продуктов его переработки приведен в таблице 1 [1-3].

Химический состав сырья (серпентинита) и продуктов его переработки

| Определяемый оксид элемента | Сырье (серпентинит) | Продукты     |                        |         |
|-----------------------------|---------------------|--------------|------------------------|---------|
|                             |                     | Оксид магния | Белая сажа ( $SiO_2$ ) | Шпинель |
| $SiO_2$                     | 42                  | 0,183        | 89,92                  | 29,40   |
| $MgO$                       | 40                  | 99,461       | 0,51                   | 2,08    |
| $Al_2O_3$                   | 1,9                 | —            | 0,32                   | 0,59    |
| $FeO$                       | 1,0                 | —            | —                      | —       |
| $Fe_2O_3$                   | 4,0                 | —            | 0,36                   | 61,10   |
| $Cr_2O_3$                   | 0,28                | —            | —                      | 1,67    |
| $NiO$                       | 0,23                | —            | —                      | 0,47    |
| $MnO$                       | 0,25                | —            | —                      | 0,28    |
| $CaO$                       | 1,95                | 0,356        | 0,18                   | 0,29    |
| Прочие,<br>в т.ч. п.п.п.    | 8,39                | —            | 8,71                   | 4,12    |

Наиболее перспективным из гидрометаллургических способов переработки магниесодержащего сырья является азотнокислотный, защищенный патентом РФ [4]. Данная технология предполагает:

- выщелачивание измельченного сырья азотной кислотой при нагреве;
- выделение из кремнезема железо-хром-марганцевых шпинелей магнитной сепарацией;
- нейтрализацию азотнокислого раствора оксидом магния до  $pH > 8$  и осаждение гидроксидов тяжелых металлов (ТМ) и алюминия;
- выпаривание и кристаллизация нитрата магния шестиводного;
- его термическое разложение в атмосфере перегретого водяного пара при температуре 450–550 °С с получением оксида магния и нитрозных газов (смеси  $H_2O_{пар}$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_2$ ), конденсация которых позволяет регенерировать 100 %-й азотной кислоты;
- смешивание и прокаливание магнитной фракции и гидроксидов тяжелых металлов, полученных при нейтрализации, с образованием шпинели.

Продукты переработки по азотнокислотному способу:

- высокочистый оксид магния, востребованный в огнеупорной, химической промышленности, металлургии, фармакологии, производстве строительных материалов и резинотехнических изделий;
- чистый высокодисперсный кремнезем, отвечающий требованиям, предъявляемым к "белой саже" [5]. Этот продукт востребован в производстве

строительных материалов, резинотехнических изделий и полимерных материалов, катализаторов. Данный продукт также показал себя как сорбент для радионуклидов [3, 6];

— шпинель, содержащая оксиды тяжелых металлов и алюминия. Этот продукт может быть использован для производства легированной стали.

Химический состав полученных веществ представлен в таблице.

Азотнокислотная технология имеет ряд преимуществ:

— меньшая агрессивность азотной кислоты к стальному оборудованию по сравнению с соляной кислотой;

— относительно невысокая температура разложения шестиводного нитрата магния по сравнению с хлоридом или сульфатом магния;

— замкнутость технологической линии: возможность регенерации выщелачивающего (азотной кислоты) и нейтрализующего (оксида магния) реагентов;

— комплексность переработки отходов.

Все это позволяет сделать предположение о высокой экономической эффективности предприятия, которое реализует данную технологию, что подтверждает экономический расчет, сделанный авторами [7]. Данная технология является ресурсосберегающей, так как для получения таких ценных веществ как оксид магния, "белая сажа" и железосодержащий продукт (шпинель) используется не минеральное сырье, а отход производства асбеста.

Реализация данной технологии также позволит улучшить социальную обстановку в таких городах, как Асбест за счет создания дополнительных рабочих мест.

#### *Библиографический список*

1. Калиниченко И.И., Никоненко Е.А., Блифернец Н.А., Колесникова М.П., Габдуллин А.Н. Анализ состава и физико-химических свойств отхода асбестовой промышленности. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2002. 11 с. Деп. в ВИНТИ 19.06.2002, № 1143.
2. Габдуллин А.Н., Калиниченко И.И., Печерских Е.Г., Семенищев В.С. Получение высокодисперсного кремнезема методом азотнокислотной переработки серпентинита // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2011. Т. 24 (63), № 3. С. 44–47.
3. Калиниченко И.И., Габдуллин А.Н., Печерских Е.Г., Семенищев В.С., Антропова О.А. Получение чистого высокодисперсного кремнезема при азотнокислотной переработке серпентинита и его применение для сорбции цезия-137 // Наука и технологии. Труды XXX Российской школы. М.: РАН, 2010. С. 267–274.
4. Пат. 2292300 RUC01 F 5/02. Способ переработки серпентинита / Калиниченко И.И. (RU), Габдуллин А.Н. (RU): №2005122242/15; заявл. 13.07.2005; опубл. 27.01.2007. Бюл. № 3. 10 с.
5. ГОСТ 18307–78. Сажа белая. Технические условия. М., 1998. 18 с.
6. Габдуллин А.Н., Молодых А.С., Калиниченко И.И., Печерских Е.Г., Семенищев В.С. Комплексная азотнокислотная переработка отходов асбестообогащительного производства и некоторых других магнийсиликатных пород // Сотрудничество для решения проблемы отходов: Материалы 9-й Международной конференции WasteECo-2012. Харьков, 2012.
7. Калиниченко И.И., Блифернец Н.А., Колесникова М.П., Никоненко Е.А., Габдуллин А.Н. Оценка проекта получения оксида магния из отходов производства асбеста – серпентинита. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2002. 11 с. Деп. в ВИНТИ 12.07.2002, № 1316.

## **ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СТЕКОЛЬНОГО БОЯ И ДОЛОМИТОВОЙ МУКИ**

*Галямова Л.А., Пармонова А.М., Альбаева И.И., Кушнеревич А.В., Власова С.Г.  
УрФУ, vlassvet@k66.ru*

Среда, окружающая человека и ограниченная помещением, должна иметь такие характеристики, которые наиболее полно отвечают работе человеческого организма. Характеристики среды определяются также и акустическим режимом, характеризующимся качеством восприятия звука или уровнем мешающего шума, возникающего в помещении или проникающего в него.

В последнее время, в результате участившихся трагических событий как строители, так и собственники помещений начали обращать внимание не только на цену строительных материалов, но и на их реальное, а не декларируемое качество. Не зря говорят, что стена в помещении – это третья кожа, и от ее состояния, в том числе и экологического, во многом будет определяться и самочувствие обитателей этих помещений.

Как никогда остро стоит и проблема создания ресурсосберегающих технологий. Количество ежегодно образующихся силикатных стекол в виде бытовых и промышленных отходов – стеклобоя – по количеству сопоставимо с добычей некоторых видов промышленного минерального сырья.

Решением задачи ресурсосбережения и энергоэффективности является производство новых строительных материалов, изготовленных из стекольного боя. Одним из наиболее перспективных неорганических материалов является пеностекло. Этот материал обладает уникальным комплексом свойств: наряду с отличными теплоизоляционными свойствами и полной экологической, пожарной и гигиенической безопасностью, пеностекло имеет высокую прочность, влагостойкость и морозостойкость, низкую плотность, легко монтируется и обрабатывается.

Свойства пеностекла определяются свойствами сырья, параметрами его подготовки и режимами вспенивания.

Была выбрана технологическая схема получения пеностекла, основные стадии которой включают: измельчение стеклобоя до тонкодисперсного состояния, приготовление шихты из стеклобоя и газообразователя, вспенивание в печи, охлаждение и отжиг.

Для проведения экспериментов готовили пенообразующие смеси с использованием листового или тарного зеленого боя и разных карбонатных газообразователей: мела, доломита, известняка. Газообразователь добавляли от 1 до 4 мас. %. Порошкообразную смесь нагревали в печи до температуры 840-920 °С с выдержкой (время варьировалось), вспененную массу охлаждали и отжигали при 600-640 °С. Необходимо было отработать режим вспенивания для получения материала с требуемыми характеристиками. Образцы, полученные на основе листового/тарного зеленого боя и доломита, имеют наиболее правильную структуру, поры сферической формы, приблизительно одинакового размера, а также самую низкую  $T_{всп}$ , поэтому дальнейшие исследования проводили для

образцов, содержащих в качестве газообразователя тонко измельченный доломит.

Химический состав сырья (мас. %), используемого для исследований в данной НИР, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырья (мас. %)

| Материалы                             | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|--------------------------------|
| Тарный зеленый стеклобой              | 72,0             | 2,5                            | 6,3   | 4,0   | 15,0              | 0,2                            |
| Листовой бесцветный стеклобой         | 72,3             | 1,7                            | 7,8   | 4,0   | 14,1              | 0,1                            |
| Доломит (Билимбаевское месторождение) | 1,86             | 0,83                           | 30,05 | 20,85 | -                 | 0,55                           |

Был отработан режим вспенивания пеностекла, рассмотрено влияние содержания газообразователя на физико-химические свойства: коэффициент вспенивания, объемную массу, теплопроводность, водопоглощение, прочность при сжатии, звукопоглощение. Объемная масса лежит в пределах 230-380 кг/м<sup>3</sup>. Водопоглощение образцов с увеличением содержания доломита возрастает с 18 до 24 % для тарного и с 23 до 28 % для листового, невысокие в целом значения водопоглощения не характерны для материала с открытыми порами. Прочность при сжатии составила 1,20-1,38 МПа, теплопроводность лежит в допустимых пределах 0,072-0,079 Вт/м<sup>2</sup>·°С. Полученные коэффициенты звукопоглощения, характеризующие материал при нормальном (перпендикулярном) падении волн, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость коэффициента шумопоглощения пеностекла от содержания газообразователя (доломита)

| Стеклобой      | Содержание доломита, % | Коэффициент шумопоглощения | $T_{всп}$ , °С |
|----------------|------------------------|----------------------------|----------------|
| Листовой       | 2                      | 0,54                       | 850            |
|                | 3                      | 0,59                       | 850            |
|                | 4                      | 0,62                       | 850            |
| Тарный зеленый | 1,5                    | 0,51                       | 855            |
|                | 3                      | 0,55                       | 855            |
|                | 4                      | 0,60                       | 855            |

Полученные значения коэффициента звукопоглощения входят в диапазон значений, рекомендуемых для шумопоглощающих строительных материалов.

С экономической точки зрения использование стеклобоя в качестве сырья для получения пеностекла оправдано возможностью сбережения кальцинированной соды при производстве нового стекла, снижением загрязненности воздуха, уменьшением образования твердых отходов, экономией энергии, воды и естественных ресурсов (нет высокотемпературных процессов варки). Как следствие, будет снижена и себестоимость готового продукта у производителя. Результаты исследований показали возможность использования стеклобоя и доломитовой муки для получения звуко- и теплоизоляционного пеностекла.

## ЛЕГКОВЕСНЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ВСПУЧЕННОГО ВЕРМИКУЛИТА

*Гирфанов Е.С., Кащеев И.Д.  
УрФУ*

Одно из направлений в ресурсосбережении – использование тугоплавких пористых отходов в качестве заполнителей для бетонов.

Известны бетоны на основе вспученного вермикулита, портландцемента и тугоплавкой добавки из золоотходов кислого состава разработан конструкционно-теплоизоляционный вермикулитозолобетон с предельно допустимой температурой применения 1000 °С. К огнеупорам в черной металлургии предъявляют более высокие показатели: улучшенная структура и качество. Огнеупоры должны также обладать низким энергопотреблением и являться экологически безопасными. Поэтому в огнеупорной промышленности получает интенсивное развитие производство экологически чистых, безотходных технологий, обеспечивающих экономию сырьевых и трудовых ресурсов.

Экономичное расходование огнеупоров, может быть достигнуто путем повышения технического уровня производства и применение более дешевых жаростойких материалов: жаростойкого бетона. Вместе с тем до настоящего времени огнеупоры в основном выпускают в виде мелкоштучных изделий, что кроме сокращения сроков службы из-за наличия большого количества швов, затрудняет применение механизации и индустриализации работ при их использовании. В то же время на металлургических заводах возникают проблемы с использованием и обслуживанием сталеразливочных ковшей, так как интенсивное развитие внепечной обработки стали превратило ковш в основной технический агрегат.

В работе рассмотрена в основном замена мелкоштучных огнеупоров на жаростойкие бетоны.

Наибольшее влияние на развитие технологии жаростойких бетонов оказали следующие факторы:

- 1) возможность автоматизации формования структуры вследствие чего снижаются трудозатраты и энергозатраты;
- 2) быстрый пуск агрегата, который также обусловлен автоматизацией процесса;
- 3) снижение количества температурных швов либо их полное отсутствие. Футеровка из больших блоков либо монолитная имеет повышенный срок эксплуатации по сравнению с футеровкой из кирпичной кладки;
- 4) отсутствие спекания в огнеупорных бетонах значительно менее выражено и происходит только в рабочей зоне футеровки, более высокая термостойкость и меньшая теплопроводность огнеупорных бетонов, чем соответствующих обожженных штучных изделий. В связи с этим спекание в огнеупорных кирпичах происходит только в рабочей зоне футеровки, и агрегаты реже выходят на ремонт.

Кроме того, использование бетонов позволяет ремонтировать локальный износ на месте путем нанесения бетона, что позволяет увеличить срок службы футеровки, а также является экономически и экологически выгодным.

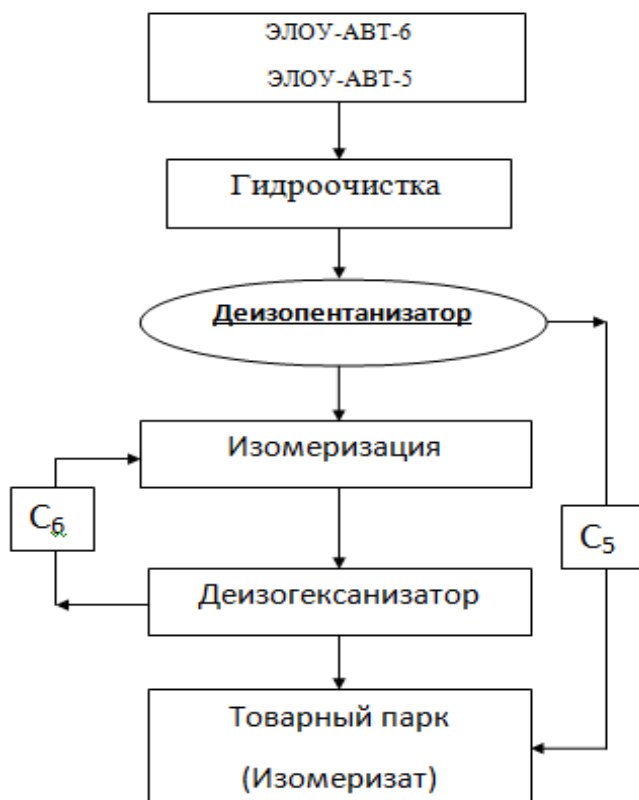
С помощью бетона можно получать более сложные литые формы, которые трудно и в некоторых случаях невозможно футеровать штучными изделиями.

## ВВЕДЕНИЕ УЗЛА ДЕИЗОПЕНТАНИЗАЦИИ НА УСТАНОВКЕ ИЗОМЕРИЗАЦИИ ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА

Гордеев И.И., Белоусова О.А.  
УрФУ, belilaei@mail.ru

Основным из показателей бензинов является октановое число – показатель, характеризующий детонационную стойкость топлива (способность топлива противостоять самовоспламенению при сжатии) для двигателей внутреннего сгорания. В современном мире существует растущая потребность в высокооктановых бензинах.

Одним из методов изменения характеристик компонентов бензина является реакция изомеризации алканов, в результате которой получают компонент бензина – изомеризат, с повышенным октановым числом. Изомеризации подвергают фракцию 35-70 °С первичной перегонки нефти. Фракция поступает на установку с октановым числом 55, а продукт – изомеризат имеет октановое число 87 – 87,1.



Компоненты фракции 35-70 °С, такие как бутан, *i*-бутан, *t*-бутен-2, *i*-пентан, составляющие во фракции около 20 % мас., в процессе изомеризации не изменяют свою структуру, поэтому их предварительное отделение от фракции 35-70 °С позволит уменьшить поток сырья, поступающий в реактор изомеризации. На рисунке представлена принципиальная технологическая схема переработки фракции, включающая колонну, так называемый деизопентанизатор, для отделения легких компонентов, не изменяющих структуру в процессе изомеризации.

Разгрузка реактора изомеризации позволит увеличить время нахождения вещества в реакторе, т.е. уменьшить объемную скорость сырья. Вследствие этого возрастет степень конверсии сырья, которая приводит к увеличению октанового числа. В результате октановое число увеличится до 88 пунктов (по исследовательскому методу).

Рассчитаны габариты ректификационной колонны деизопентанизации – для реализации данного проекта на ООО «Сызранский НПЗ» необходима установка с 80 тарелками, высотой 47 метров, в которой будет происходить процесс разделения компонентов. Сверху колонны будут отводиться легкие компоненты (не подлежащие изомеризации), а снизу колонны отбираться сырьё для изомеризации. В итоге поток с установки изомеризации смешивается с потоком, отведенным сверху колонны деизопентанизации для получения высокооктанового компонента бензина – изомеризата.

#### *Вывод*

Внедрение узла деизопентанизации позволит увеличить эффективность использования сырья, получать изомеризат с более высоким октановым числом и, кроме того, позволит сократить при компаундировании бензина использование дорогих высокооктановых присадок, таких как МТБЭ.

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ СУЛЬФАТА ЦИНКА В ООО «МЕДНОГОРСКИЙ МЕДНО-СЕРНЫЙ КОМБИНАТ»**

*Гришунина Д.М., Мухина Е.А., Кривова С.Д., Толкачева Л.Е.  
УрФУ, sfkatyshev@mail.ru*

Получение раствора сульфата цинка в ООО «Медногорский медно-серный комбинат» (г. Медногорск, Оренбургская обл.) основано на сернокислотном выщелачивании конверторной пыли, являющейся твердым отходом процесса конвертирования медного штейна в производстве черновой меди. В настоящее время раствор используют в качестве реагента в процессе флотации медно-цинковых руд на Гайском горно-обогатительном комбинате, расположенном сравнительно недалеко. Применение сульфата цинка в жидком виде ограничено, так как его транспортировка технически не оправдана и экономически не выгодна, поэтому для привлечения иных потребителей необходима организация выпуска сульфата цинка в твердом виде. В качестве сырья в данный момент используется свежая конверторная пыль, однако в шламохранилище имеется большое количество лежалой пыли.



Целью работы явилась разработка усовершенствованной технологии получения сульфата цинка с выпуском двух товарных продуктов в виде раствора сульфата цинка и цинкового купороса при минимальной реконструкции цеха с экономией материальных и финансовых ресурсов предприятия.

В ходе проведенных маркетинговых исследований было установлено, что цинковый купорос пользуется спросом, и товарный рынок не насыщен. В нем нуждаются российские предприятия по производству вискозы, химических волокон, целлофана, диоксида титана, микроудобрений. Цинковый купорос используется для оцинковывания поверхности металлов от коррозии и пропитки древесины для предотвращения её гниения. Также возможна реализация цинкового купороса на зарубежный рынок, например, в производствах республики Казахстан, выпускающих различные добавки для комбикорма. С учетом выпуска цинкового купороса на других предприятиях, расположенных в городах Кировграде, Ревде, Челябинске и Алмалыке, была определена потребность в цинковом купоросе, которая составляет 2500 тонн в год. Постоянным потребителем раствора сульфата цинка остается Гайский горно-обогатительный комбинат, который в случае ликвидации поставок в жидком виде понесет расходы, связанные с удорожанием сырья и с организацией стадии его растворения.

В настоящее время для получения раствора сульфата цинка для нужд обогатительной фабрики используют в полном объеме свежие конверторные пыли, а также шламы реагентной очистки сточных вод автоагрегатных предприятий. Расширение ассортимента и увеличение выпуска продукции возможны путем вовлечения в переработку лежалой пыли из шламохранилища. Анализ химического состава пыли показал, что содержание в ней ценных компонентов (соединений цинка, меди, свинца и др.) значительно меньше, чем в свежей. Например, содержание оксида цинка меньше в 1,6 раза, оксида железа в 1,7 раза, оксида свинца – 1,5 раза (в пересчете на оксиды металлов). Это свидетельствует о вымывании соединений в сточные воды при хранении, что обуславливает повышение расхода лежалой пыли на тонну продукта.

Товарный раствор сульфата цинка в ООО «Медногорский медно-серный комбинат» получают в процессе двухстадийного (водного и серноокислотного) выщелачивания с последующей фильтрацией и очисткой от примесей. Образующиеся при этом свинцово-оловянные и медьсодержащие твердые остатки (кеки) возвращают на переработку в медеплавильный цех.

Анализ существующей технологической схемы с учетом имеющегося установленного и запасного оборудования, проведенный расчет материальных и тепловых балансов, а также расчет оборудования показал возможность увеличения объема раствора до требуемого практически без изменения технологии и аппаратного оформления процесса. Необходимо только удаление инородных включений путем предварительного просеивания лежалой пыли. Однако, для получения цинкового купороса необходима организация процесса сушки раствора сульфата цинка. Изучение литературы показало, что в основном товарный гранулированный цинковый купорос получают в сушилке кипящего слоя в виде одноводного кристаллогидрата сульфата цинка. Поэтому в разработанной технологии предусмотрена её установка с поддержанием в кипящем слое опти-

мальной температуры от 200 до 220 °С. Сделан выбор и расчет основного оборудования для упарки раствора сульфата цинка и очистки отходящих газов.

Для получения качественного цинкового купороса, соответствующего показателям ГОСТ 8723-82, очищенный раствор должен удовлетворять требованиям: содержание цинка не менее 100 г/л, отсутствие взвесей, ограничение содержания кадмия, наличие окислителя для органических соединений.

Таким образом, использование лежалой конверторной пыли с возвратом в цикл основного производства и на переработку ценных компонентов из медь-содержащих и свинцово-оловянных кеков и организация выпуска востребованного цинкового купороса позволит повысить степень использования сырья, улучшить экологическую обстановку и сэкономить материальные и финансовые ресурсы предприятия.

## **ПОТЕНЦИОСТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ ПРОТИВ ЛОКАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ**

*Гумирова А.Р., Ярославцева О.В., Останин Н.И., Рудой В.М., Трофимов А.А.  
УрФУ, yaroslavtseva\_ov@list.ru*

Одним из направлений ресурсосбережения в нефтедобывающей отрасли является применение для изготовления оборудования материалов, устойчивых к воздействию эксплуатационных сред. Присутствие в промышленных средах сероводорода и углекислоты обуславливает развитие коррозионных процессов, сопровождающихся локальными разрушениями: коррозионным растрескиванием, питтингообразованием и т.п. В этой связи особую важность приобретает проблема методов контроля стойкости применяемых в отрасли металлических материалов к локальным видам коррозии. Стойкость к коррозионному растрескиванию в присутствии сероводорода оценивается стандартизованными методами, устанавливающими критериальную оценку устойчивости материала к этому виду разрушения. Вместе с тем, на основании обзора методов исследования питтинговой коррозии приходится констатировать отсутствие сформулированного показателя, характеризующего стойкость металлов и сплавов к питтингообразованию.

В работе изучена применимость для этих целей метода потенциостатической поляризации с последующим спектральным анализом временных рядов. Исследовали: образцы с четко выраженной склонностью к питтинговой коррозии (сталь X13), образцы, для которых не характерно питтингообразование (железо-армко) и из сталей, промышленно применяемых для изготовления нефтегазопроводных труб (13ХФА, 08ХМФБЧ, 12ФА-SS).

Поляризационные измерения осуществляли в стандартной электрохимической ячейке с разделенными катодным и анодным пространствами на потенциостате Solartron 1280С. В качестве вспомогательного электрода использовали платиновую лопаточку, электрода сравнения – хлорсеребряный полуэлемент. Электролитический контакт между рабочим электродом и электродом сравнения обеспечивали при помощи электролитического мостика с капилляром Луг-

гина. Рабочим являлся 0,75 М раствор  $H_2SO_4$ . Потенциал для поляризации выбирали для каждой марки стали по предварительно полученным анодным поляризационным кривым с линейной разверткой потенциала, полагая наиболее чувствительным «третий» потенциал в предпассивной области [1].

Экспериментальные хроноамперограммы для всех исследуемых образцов имели характерные осцилляции тока, которые связаны с изменением соотношения количества активных и пассивных участков поверхности. Спектральным анализом временных рядов колебаний тока была оценена цикличность локального активирования поверхности, а именно по максимуму на графике спектральной плотности определяли частоту, характеризующую цикличность наибольшей активности очагов растворения (питтингов) [1]. В результате было установлено, что для всех исследуемых образцов спектрограммы различаются, и для каждого из них имеется индивидуальная частота наибольшей активности питтинга (таблица).

С целью выявления питтингов и оценки их размеров и количества рабочая поверхность образцов после потенциостатической поляризации была исследована методом оптической микроскопии при помощи микроскопа «Альтами». Внешний вид поверхности исследованных образцов приведен на рис. 1, а результаты количественной оценки питтингообразования – в таблице.

Результаты спектрального анализа экспериментальных хронопотенциограмм и микроскопного анализа поверхности после поляризации

| Марка стали | Частота наибольшей активности питтингов, $c^{-1}$ | Средняя площадь питтинга, $мкм^2$           | Доля поверхности, занятая питтингом, % |
|-------------|---|---|--|
| X13         | 0,03  | 51  | 0,22                                   |
| 12ФА-SS     | 0,09  | 33  | 0,09                                   |
| 08ХМФБЧА    | 0,10  | 19  | 0,03                                   |
| 13ХФА       | 0,15  | Питтинги отсутствуют, растворение по зернам |  |
| Железо      | 0,26  | Питтинги отсутствуют, растворение по зернам |  |

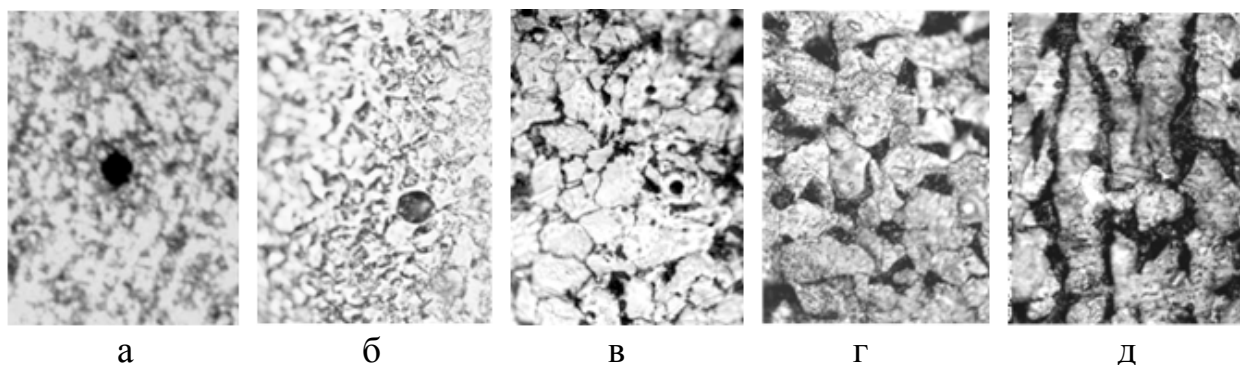


Рис. 1. Внешний вид поверхности образцов после потенциостатической поляризации (увеличение  $\times 80$ ): а) X13, б) 12ФА-SS, в) 08ХМФБЧ, г) 13ХФА, д) железо-армко

Микроскопные исследования позволили выявить, что для одних сталей имеется четко выраженный локальный питтинг, а другие имеют растравленные области в форме полей, занимающих значительную поверхность. Причем, сопоставляя данные микроскопного анализа и результаты Фурье-анализа, можно отметить, что чем меньше частота активации, тем более четкой является локализация коррозионного процесса (рис. 2). То есть чем меньше частота максимального пика, тем реже возникают новые очаги растворения и преимущественно активируются уже имеющиеся.

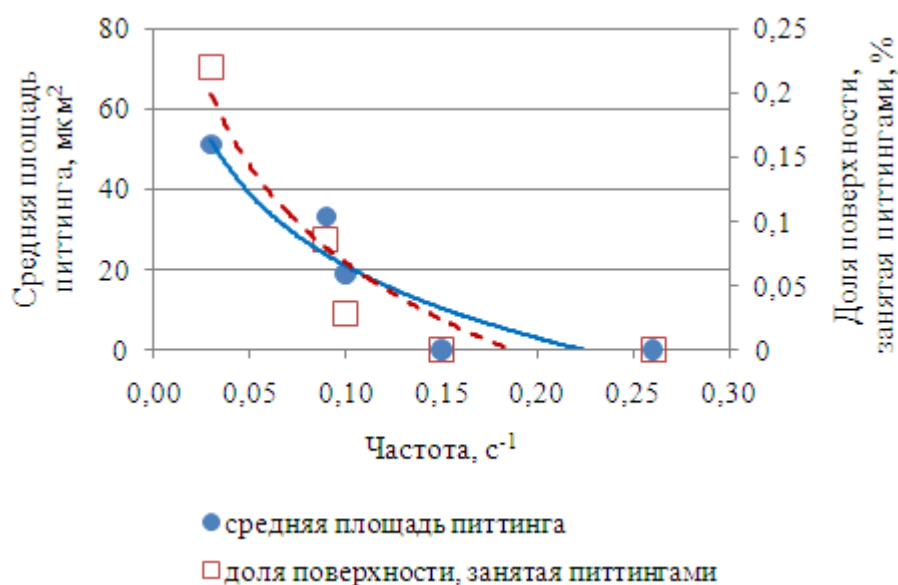


Рис. 2. Взаимосвязь питтингообразования и частоты активации

Таким образом, максимальная частота спектральной плотности может быть принята в качестве показателя, характеризующего склонность к локализации коррозионного процесса (питтингообразованию).

#### Библиографический список

1. Гумирова А.Р., Ярославцева О.В., Останин Н.И., Трофимов А.А., Александров С.В. Сравнительная оценка стойкости низколегированных сталей против локальной коррозии // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сб. материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 256-259.

### РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЗОНИРОВАНИИ ТЕРРИТОРИИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ООО «БЕЛОЯРСКАЯ ФАБРИКА АСБОКАРТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ»

Жомайко О.С., Семенова С.В., Правдин Б.А.  
УрФУ, zhomayko@mail.ru

В настоящее время размещение крупных промышленных предприятий запрещено на территории городских и сельских поселений, данные производства выносятся за пределы города. Раньше этому не придавалось особого значения. Промышленные предприятия находились в пределах городской или поселковой застройки, а селитебная зона и объекты социального назначения размещались на территории, непосредственно прилегающей к промплощадке предприятия.

В условиях быстрого развития инфраструктуры при планировке и застройке поселений должно предусматриваться создание благоприятных условий для жизни и здоровья населения путем комплексного благоустройства и реализации иных мер по предупреждению и устранению вредного воздействия на человека факторов производственной среды.

В целях обеспечения экологической безопасности населения и в соответствии с Федеральным законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [1], вокруг объектов и производств, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, устанавливается специальная территория с особым режимом использования. Ее размер обеспечивает уменьшение воздействия на человека производственных выбросов до значений, установленных гигиеническими нормативами, и до величин, не оказывающих влияние на здоровье населения.

В рамках разработки проекта санитарно-защитной зоны (СЗЗ-санзоны) предприятием преследуются следующие цели: проведение комплексной оценки уровня негативного воздействия на окружающую среду в результате производственной деятельности, установление границ санзоны предприятия, разработка раздела зонирования территории СЗЗ.

Предприятие ООО «Белоярская фабрика асбокартонных изделий» (ООО «БФАИ») специализируется на выпуске асбокартона торговой марки КАОН и производстве сухих строительных смесей, что подразумевает установление максимального размера ориентировочной санитарно-защитной зоны предприятия – 1000 м [2].

При помощи программных средств серии «Эколог» проведены расчеты по фактору химического загрязнения атмосферы, фактору физического загрязнения (шумового воздействия, вибрации, электромагнитных излучений промышленной частоты и радиочастоты). Тем самым обоснована возможность снижения размера СЗЗ рассматриваемого предприятия до 50 м и снижение класса опасности предприятия с 1 до 5 класса. Это обеспечивает ресурсосберегающий эффект.

Под зонированием территории СЗЗ понимается разделение территории на участки (земли) с различным приоритетным назначением и различными режимами охраны и использования. Зонирование позволяет определить возможность размещения того или иного объекта в санзоне и обосновать необходимость проведения мероприятий по отселению жителей. При рассмотрении расчетной (предварительной) СЗЗ ООО «БФАИ» была рассмотрена следующая классификация земель [3]:

- 1) земли промышленности;
- 2) земли транспортной сети;
- 3) необремененные государственные земли.

На основе данной классификации построена ситуационная карта-схема функционального использования территории СЗЗ и сделан вывод о том, что отселение жителей не требуется, а также проанализирована необходимость проведения мероприятий по благоустройству и озеленению СЗЗ. В рассматриваемом проекте необходима реализация данных мероприятий, так как процент

озеленения территории СЗЗ составляет 13,6 %, а требуемое озеленение СЗЗ предприятия V класса должно составлять не менее 60 % [2].

Озеленение территории СЗЗ представляет собой систему параллельных древесно-кустарниковых полос, расположенных перпендикулярно основному направлению ветра по розе ветров. Чередование густых зеленых массивов с открытыми пространствами способствует более полному очищению атмосферного воздуха от производственных вредностей.

Для выполнения требований санитарных правил предусмотрено создание дополнительных участков озеленения на территории интегральной санзоны площадью 2,64 га. По периметру границы предприятия рекомендуется произвести посадки древесно-кустарниковых пород, таких как тополь черный, карагач, ель колючая, лиственница сибирская, акация желтая, боярышник сибирский, жимолость синяя [4]. Данные породы нетребовательны к почве, засухоустойчивы, теневыносливы и зимостойчивы, обладают высокой дымо-, пыле-, газоустойчивостью. Проведение данных мероприятий позволит увеличить площади озеленения СЗЗ до 23,25 %.

В целом, сокращение санитарно-защитной зоны позволяет предприятию соблюдать требования санитарно-эпидемиологических правил, дает право на беспрепятственное функционирование объекта, позволяет ликвидировать статью расходов на отселение жителей, сократить размер земельного налога [5], получить ресурсосберегающий эффект.

#### *Библиографический список*

1. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ (с изм. от 25.11.2013 №317-ФЗ).
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Минздрав РФ, 2003.
3. Земельный кодекс Российской Федерации (ЗК РФ) от 25.10.2001 № 136-ФЗ (с изм. от 19.04.2013 № 55-ФЗ). М.: Собрание законодательства РФ, 2001.
4. Рубцов Л.И. Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре. Справочник. Киев: Наукова думка, 1977.
5. Закон Российской Федерации «О плате за землю» от 11.11.1991 № 1738-1 (с изм. от 26.06.2007 № 118-ФЗ).

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

*Зырянцев О.А., Гольцев В.А.  
УрФУ, v.a.goltsev@ustu.ru*

Работа промышленных предприятий, связанных с получением насыпных грузов железнодорожным транспортом, в зимнее время серьезно осложняется тем, что при перевозке грузов в условиях низких температур значительная часть этих грузов подвергается смерзанию и затрудняется их выгрузка.

Особенно сильно смерзаются руды (всех видов), рудные концентраты, песок, уголь и ряд других грузов, которые зачастую превращаются в монолит.

В связи с этим выгрузка их из вагонов связана с большими трудностями, с затратой длительного времени и большого количества рабочей силы.

Мероприятия по борьбе со смерзаемостью могут быть профилактические, т. е. предупреждающие смерзание, и восстанавливающие сыпучесть смерзшего груза. Профилактические мероприятия производятся грузоотправителем.

Способы борьбы со смерзаемостью делятся по принципу действия на физические, химические, физико-химические и механические.

К физическим способам относятся: замораживание с последующим разрушением корки для придания крупнокусковой структуры; обезвоживание объектов; выстилание дна и стен вагонов и судов; создание несмерзающихся прослоек (пересыпка) из гигроскопических; обмасливание груза минеральными маслами; оттаивание (размораживание) в специальных закрытых помещениях или нагревательных камерах паром, горячей водой, горячим воздухом или продуктами сгорания, инфракрасными излучателями.

Химические способы основаны на способности некоторых химических веществ поглощать влагу из груза и при этом выделять тепло.

Физико-химические способы основаны на способности некоторых химических веществ образовывать водные растворы с низкой температурой замерзания.

Механические способы предусматривают рыхление смерзшегося груза.

Наиболее рациональны профилактические меры — выпуск продукции с влажностью, предотвращающей смерзаемость и замораживание товара с перелопачиванием. В зимнее время руды должны иметь влажность не более 4 %. Чтобы решить проблему смерзаемости медного концентрата на предприятии ОАО «СУМЗ», было принято решение о создании гаража размораживания руд, в котором будет происходить восстановление сыпучести сырьевого материала.

Для отработки тепловых режимов работы гаража размораживания руд требуется знание теплофизических свойств медного концентрата и изменения этих характеристик в зависимости от изменения влажности шихты.

Целью данных исследований являлось определение коэффициентов температуропроводности цилиндрических образцов сырьевых материалов различной влажности при отрицательных температурах.

Для проведения экспериментальных исследований был использован измеритель — регулятор температуры типа Термодат-25К1 класса точности 0,25. Анализируемый образец вначале высушивали при 100 °С для удаления влаги, взвешивали и добавляли воду до заданной влажности. Тщательно перемешанный с водой материал помещали в цилиндрический сосуд из металла с высоким коэффициентом теплопроводности и устанавливали две термодатчики К — в центре и на боковой поверхности. Затем подготовленный образец помещали в герметичный пакет и замораживали в морозильной камере холодильника. Далее цилиндр с сырьевым материалом размораживали на воздухе, фиксируя показания термодатчиков через 500 миллисекунд.

Суть метода определения коэффициента температуропроводности состоит в следующем. Если температура среды, в которой находится исследуемый образец, изменяется со временем по линейному закону  $t = c \cdot \tau$ , °С (с — скорость

нагрева, град/с;  $\tau$  – время, с), а теплообмен в системе тело – среда осуществляется при граничных условиях 3-го рода, то для оси цилиндра неограниченной длины радиуса  $R$  ( $r = 0$ ) через  $\tau$  ч температура может быть определена из выражения

$$t_{\text{ц}} = c \cdot \tau - \frac{c \cdot R^2}{4a} + \frac{c \cdot R^2}{a} \cdot \Phi \cdot \left(\frac{a \cdot \tau}{R^2}\right)^0 \text{C}.$$

Разность температур на поверхности и по оси цилиндра

$$\Delta t = t_{\text{п}} - t_{\text{ц}} = \frac{c \cdot R^2}{4a} - \frac{c \cdot R^2}{a} \cdot \Phi \cdot \left(\frac{a \cdot \tau}{R^2}\right)^0 \text{C}. \quad (1)$$

При  $\frac{a \cdot \tau}{R^2} \geq 0,5$  (т.е.  $\tau \geq \frac{0,5 \cdot R^2}{a}$ ) значение функции становится весьма малым и им можно пренебречь. Тогда

$$t_{\text{ц}} = c \cdot \tau - \frac{c \cdot R^2}{4a} \text{C}; \Delta t = \frac{c \cdot R^2}{4a} \text{C}.$$

Следовательно, значения температуры на оси цилиндра  $t_{\text{ц}}$  и на его поверхности  $t_{\text{п}}$  начинают изменяться по прямой линии, а разность температур поверхности и оси  $\Delta t$  становится постоянной, т.е. наступает регулярный режим нагрева. Если в начальный момент разность температур между поверхностью и осью цилиндра равна  $\Delta t_0$ , то уравнение (1) может быть представлено в виде

$$\frac{\Delta t}{c \cdot \tau} = \frac{R^2}{4a} - \left(\frac{R^2}{a \cdot c} - 4 \cdot \frac{\Delta t_0}{c \cdot \tau}\right) \cdot \Phi \cdot \left(\frac{a \cdot \tau}{R^2}\right). \quad (2)$$

Так как  $\frac{a \cdot \tau}{R^2} = Fo$  – критерий Фурье, то выражение (2) можно переписать в следующем виде:

$$\frac{\Delta t}{c \cdot \tau} = \frac{\tau}{4 \cdot Fo} - \left(\frac{1}{Fo} - 4 \cdot \frac{\Delta t_0}{c \cdot \tau}\right) \cdot \Phi \cdot \left(\frac{a \cdot \tau}{R^2}\right), \quad (3)$$

здесь  $\Delta t_0$  и  $\Delta t$  – разность температур между периферией (поверхностью) и осью образца в начале и конце изучаемого участка,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\frac{\Delta t_0}{c \cdot \tau}$  и  $\frac{\Delta t}{c \cdot \tau}$  – безразмерные величины (симплексы);  $\Phi(Fo)$  – функция критерия Фурье [1].

Значение критерия Фурье, из которого определяли величину коэффициента температуропроводности, находили по экспериментально найденным величинам  $\frac{\Delta t_0}{c \cdot \tau}$  и  $\frac{\Delta t}{c \cdot \tau}$  из диаграммы нагрева образца [2].

Результаты экспериментов представлены в таблице:

| Номер эксперимента | Влажность, % | $a$ , м <sup>2</sup> /ч | $\tau$ , с |
|--------------------|--------------|-------------------------|------------|
| 1                  | 0            | $0,3583 \cdot 10^{-6}$  | 956        |
| 2                  | 1            | $0,4487 \cdot 10^{-6}$  | 990        |
| 3                  | 3            | $0,10563 \cdot 10^{-5}$ | 1293       |
| 4                  | 5            | $0,16262 \cdot 10^{-5}$ | 1462       |
| 5                  | 7            | $0,23353 \cdot 10^{-5}$ | 1655       |
| 6                  | 9            | $0,24800 \cdot 10^{-5}$ | 1822       |



### *Выводы*

1. Отработана методика расчета коэффициента температуропроводности для сыпучих сырьевых материалов различной влажности при их размораживании.

2. Полученные в опытах значения коэффициента температуропроводности будут использованы для отработки тепловых режимов гаража-размораживателя ОАО СУМЗ.

### *Библиографический список*

1. Осиновских Л.Л. Температуро- и теплопроводность доменных шлаков [Текст] / Л.Л. Осиновских [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. № 5. С. 36-40.
2. Рафалович И. М. Определение теплофизических свойств металлургических материалов [Текст] / И.М. Рафалович [и др.]. М.: Металлургия, 1971. 160 с.

## **ДОБЫЧА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕРНОМОРСКОГО СЕРОВОДОРОДА**

*Климов Е.И., Цейзер Г.М.*

*Южно-Уральский государственный университет  
eklimov80@gmail.com, tseyzer93@mail.ru*

Целью данной работы является исследование основных проблем добычи и использования черноморского сероводорода и поиск оптимального способа его добычи.

Разработка черноморского месторождения сероводорода может стать оптимальной альтернативой истощающимся месторождениям углеродного топлива. Сероводород является газом, пригодным для сжигания, а также сырьём для получения водорода, создание топливных элементов из которого является одним из самых популярных направлений в мировой энергетике. Не стоит забывать, что сероводород является важным сырьём для химической промышленности (получение серы, серной кислоты и т.д.).

К тому же добыча черноморского сероводорода положительно скажется на экологической ситуации в акватории Чёрного моря. Сероводород является горючим и токсичным газом. Наблюдения второй половины XX века показывают, что уровень сероводородного слоя стремительно растёт. Этот прирост является постоянным, и согласно ряду источников, составляет 4-20 см в год. Такие события, как землетрясения и крупные штормы, могут спровоцировать значительный выброс сероводорода. Добыча сероводорода приведёт к понижению его уровня, что может обезопасить окружающую среду.

Чёрное море является большим генератором и накопителем сероводорода. Суммарные запасы сероводорода оцениваются десятками миллиардов тонн при ежегодном приросте 4-9 млн т, что говорит о его свойстве возобновляться. Причиной его образования является то, что более соленые глубинные воды фактически изолированы от акватории мирового океана. Вследствие этого, начиная с глубины 100-200 метров, Чёрное море имеет особую анаэробную био-

сферу, в которой образуется сероводород, остающийся в изолированных черноморских глубинах [1].

Способы использования сероводорода можно разделить на два крупных направления. А именно, химическое производство и получение энергии.

Для химической промышленности сероводород имеет довольно большое значение. Сероводород может выступать как в роли основного источника сырья для выработки ряда элементов, так и составной частью различных видов производства, многие из которых относятся не только к химическому промыслу. Химическая составляющая использования сероводорода и продуктов, получаемых с его помощью, находит свое место в добывающей, металлургической, сельскохозяйственной и даже пищевой отрасли. В металлургии сероводород выступает как реагент при добыче меди, цинка, никеля. В органической химии его применяют для синтеза некоторых веществ.

Использование сероводорода зачастую сводится к производству серы и серной кислоты. Особенностью выработки серной кислоты является то, что она включает в себя этап сжигания, позволяющий использовать полученное тепло для передачи отопительной системе и получения электрической энергии.

Однако существует ряд негативных факторов. Главным из них является коррозионная агрессивность, которая создаёт целый комплекс проблем, связанных с разрушением металлических конструкций. Стоит также учесть его огнеопасность и токсичность. Эти факторы важно учитывать при проектировании и обслуживании комплексов по работе с сероводородом.

Основным препятствием использования черноморского сероводорода в энергетике и промышленности является его добыча, связанная с выделением сероводорода из больших масс воды.

Существует множество идей технологического решения этого вопроса. Эти технологии можно условно разделить по нескольким категориям. Добыча может вестись как с береговой, так и с морской поверхности. Выделение сероводорода предлагают осуществлять либо с забором содержащей его воды и дальнейшей её переработкой, либо осуществлять этот процесс непосредственно на глубине, закачивая на поверхность уже готовый газ. Разнообразны и сами способы выделения сероводорода, которые по своей природе могут быть как физическими, так и химическими. Также известны комбинированные технологии, объединяющие в себя сразу несколько способов добычи для получения большей эффективности. [3,4].

Наибольший интерес представляют собой методы с использованием газлифта по аналогии с фонтанным способом добычи нефти, который, в свою очередь, является наиболее дешёвым в нефтяной промышленности. Фонтанная технология основана на подъёме нефти за счёт гидростатического напора и расширения содержащегося в нефти газа.

Один из таких методов предполагает получение эффекта газлифта с помощью пластин из активированного алюминия, размещённых в трубопроводе на требуемой глубине. Вода, проходящая по трубопроводу через эти пластины, частично разлагается. Образуется водород, который поднимается вверх, увлекая за собой воду, по мере этого в воде начинает падать давление, в результате чего

из неё выделяется растворённый сероводород. Недостатком данного метода является дороговизна из-за периодической смены пластин. К тому же, особенности этой технологии снижают её производительность.

По нашему мнению, более удачным в плане использования газлифта является иной подход. На дно моря опускается трубопровод, изолированный от воды закрытым затвором. Открытие затвора приведёт к тому, что вода устремится вверх, теряя давление, в результате чего начинает выделяться сероводород, создавая эффект газлифта. Предполагается, что это создаст постоянный фонтан из высокообогащенной сероводородом воды, который будет действовать, пока в черноморской воде будет присутствовать сероводород. Численные расчёты и проведённые лабораторные эксперименты, представленные группой учёных под руководством И.М. Неклюдова, подтверждают эти смелые предположения [5,7]. Опираясь на статью, в которой был описан этот метод и даны объяснения физики процесса, наша команда провела свои расчёты, которые показали аналогичный результат. Также нами была написана обзорная статья о проблеме добычи и использования черноморского сероводорода, в настоящее время находящаяся в редакции журнала «Альтернативная энергетика и экология», ей был присвоен регистрационный редакционный №1823 от 17.10.2013 г. В дальнейшем планируется создание лабораторного стенда, который будет наглядно показывать процесс добычи сероводорода.

*Вывод.* Добыча черноморского сероводорода имеет большие перспективы. На данный момент вопрос добычи сероводорода мало изучен и имеет потенциал для дальнейшего развития. Особую роль в способах добычи сероводорода стоит уделить методам, основанным на использовании эффекта газлифта.

#### *Библиографический список*

1. Игнатьев С.М. Удивительный морской водоём / С.М. Игнатьев // Природа. 2001. № 5. С. 92-96.
2. Неклюдов И.М., Борц Б.В., Полевич О.В., Ткаченко Б.А., Шилиев В.И. Альтернативная сероводородная энергетика Чёрного моря. Состояние, проблемы, перспективы. Ч. 1 // Альтернативная энергетика и экология: Международный научный журнал. 2006. № 12(44). С. 24-26.
3. Материалы сайта Федерального института промышленной собственности. Информационные ресурсы [Электронный ресурс] URL: <http://www1.fips.ru/>. С. 1-2.
4. Леонов В.Е., Гацан Е.А. Рациональное использование морского сероводорода для топливно-энергетических целей и химического синтеза // Науковий вісник. 2010. № 1 (2). С. 143-145.
5. Неклюдов И.М., Азаренко Н.А., Борц Б.В., Полевич О.В., Ткаченко Б.А. Альтернативная сероводородная энергетика Чёрного моря. Ч. II. Энергетически выгодные способы извлечения сероводородной воды с заданных глубин // Альтернативная энергетика и экология: Международный научный журнал. 2007. № 9 (53). С. 39-41.
6. Георгиевский Н.В. Котлы для сжигания сероводорода: особенности конструирования и критерии выбора // Индустрия. 2011. № 2. С. 84.
7. Мордвинов А.А. Газлифтная эксплуатация нефтяных и газовых скважин /А.А. Мордвинов, А.А. Захаров, О.А. Миклина. Ухта: УГТУ, 2005. С. 31.

## **ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ – СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Козловских Е.Ю.  
УрФУ, evgen210891@mail.ru*

Техногенные отходы являются ценным сырьем для получения продукции в различных отраслях промышленности. Существует большое количество технологий переработки отходов, накопившихся на металлургических, машиностроительных, химических заводах, ТЭС, ГРЭС, горнообогатительных комбинатах. Наиболее хорошо изучены и нашли применение золы и шлаки ТЭС, ГРЭС, отходы черной металлургии [1–5].

В последние годы проводятся исследования по использованию техногенных отходов и комплексной переработки сырья. Такая тенденция обусловлена истощением природных ресурсов и ухудшением экологической обстановки в промышленных регионах. Для решения проблемы утилизации этих отходов требуется комплексный подход: необходимы теоретические и практические разработки и предложения, которые позволят использовать техногенные отходы предприятий как ценное сырье для получения продукции в различных отраслях промышленности.

Одним из видов отходов, не утилизируемых в настоящее время, являются отходы производства алюминия (шлаки электролизёров и отражательных печей, шлаки производства вторичного алюминия) – ОПВА. При этом они не используются для получения полезных продуктов, несмотря на ряд научно-исследовательских работ, результаты которых указывают на принципиальную возможность такого решения.

ОПВА образуются в результате переработки отвалных шлаков. Целью переработки ОПВА является извлечение металлического алюминия [9]. Такая переработка сопровождается образованием большого количества техногенных отходов, которые складываются в отвалах. Они занимают значительные площади и загрязняют окружающую среду.

ОПВА являются достаточно ценным сырьем, так как содержат большое количество оксида алюминия. Содержание  $Al_2O_3$  в ОПВА достигает 60 масс. % [6]. Кроме оксида алюминия, в состав этих отходов входят в значительных количествах соединения щелочных металлов, удаление которых является сложной технологической проблемой и которая до сегодняшнего дня полностью не решена.

Таким образом, ОПВА представляют определенный практический интерес как источник сырья для некоторых отраслей промышленности.

В настоящее время известны лишь несколько способов переработки таких отходов, образующихся после извлечения из них алюминия [6–11]:

– частичная замена природных бокситов на ОПВА при производстве глиноземистого цемента доменным способом. Это позволяет снизить расход кокса в доменных печах на 0,67-1 кг, в расчете на один килограмм поданных ОПВА [16];

– использовать ОПВА, в качестве комплексной добавки при производстве ячеистого бетона, а также предлагают после водной отмывки от солей и обработки суспензии ОПВА минеральными кислотами, получать технические соли алюминия (сульфаты, гидросульфаты, гидроксохлориды), которые можно использовать в качестве коагулянтов при фильтрации иловых осадков городских сточных вод [11];

– одним из перспективных методов использования ОПВА является получение шпинельпериклазового материала и периклазошпинельных огнеупоров на его основе. Алюмомагнезиальная шпинель, входящая в состав синтезированного материала, обладает ценными техническими свойствами. Присутствие её в составе периклазового огнеупора повышает температуру начала их деформации и термостойкость [12].

Сырье для огнеупорных материалов – простые и сложные оксиды, бескислородные соединения (например, графит, нитриды, карбиды, бориды, силициды), а также оксинитриды, оксикарбиды, сиалоны.

Для изготовления огнеупоров используют разнообразные технологии и процессы. Преобладающей является технология, включающая предварительную, тепловую обработку и измельчение компонентов, приготовление шихт с добавлением пластифицированных составляющих, формование из них изделий прессованием на механических и гидравлических прессах или экструзией с последующей допрессовкой или литьем, обжиг в туннельных, реже в периодических и газокамерных печах, для получения заданных свойств материала.

Отходы производства вторичного алюминия представляют собой ценное сырье для получения продукции в отраслях огнеупорной промышленности, а их утилизация улучшает экологическую обстановку в промышленных регионах. Технология утилизации алюминиевых шлаков позволит минимизировать экономический ущерб народного хозяйства России.

#### *Библиографический список*

1. Абдрахимова Е.С. Использование отходов цветной металлургии в производстве керамических материалов / Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 12. С. 35-39.
2. Лотош В.Е. Технологии основных производств в природопользовании / В.Е. Лотош. Екатеринбург: Полиграфист, 2001. 553 с.
3. Саркисов, П.Д. Отходы различных производств — сырье для получения строительных материалов / П.Д. Саркисов // Экология и промышленность России. 2001. № 3. С. 4-7.
4. Спасибожко В.В. Основы безотходной технологии / В.В. Спасибожко. Челябинск: ЮУрГУ, 2001. 132 с.
5. Чусовитина Т.В. Отходы металлургической промышленности – сырье для производства огнеупоров / Т.В. Чусовитина, И.И. Овчинников, Н.А. Сизова и др. // Огнеупоры. 1992. № 2. С. 23-25.
6. Шишкин И.В. Структурообразование прессованных композиций на основе цемента и отходов производства вторичного алюминия: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Челябинск: ЮУрГУ, 2000. 18 с.

7. Ушеров А.И. Брикеты из активизированных отходов производства вторичного алюминия для металлургического использования / А.И. Ушеров, В.И. Шишкин, И.В. Шишкин // Энерго- и ресурсосбережение в производстве цемента и других вяжущих материалов: Сб. докл. междунар. конф. Белград: Изд-во БелГТАСМ, 1997. С. 162-163.
8. Шишкин В.И. Общие принципы и особенности утилизации отходов промышленности в производстве строительных материалов / В.И. Шишкин, А.И. Ушеров, И.В. Шишкин // Экология промышленных регионов на рубеже XXI века: сб. научн. трудов. Магнитогорск: МГТУ, 1999. С. 113-115.
9. Ларионов Г.В. Вторичный алюминий / Г.В. Ларионов. М: Металлургия, 1967. 271 с.
10. Ушеров А.И. Получение глиноземистого цемента при частичной замене в шихте боксита на отходы производства вторичного алюминия / А.И. Ушеров, В.И. Шишкин, С.А. Крылова и др. // Современные проблемы строительного материаловедения: Тез. докл. Междунар. научно-техн. конф. Самара, 1995. С. 48-50.
11. Будашева Н.В. Комплексная химическая переработка солевых отвалных алюмосодержащих шлаков / Н.В. Будашева, Л.Н. Курдюмова, С.А. Куценко. [http://www. Orel-sau.ru/index.php?conferences=342008-03-10&chair=34&chair=34&section=15&text=85](http://www.Orel-sau.ru/index.php?conferences=342008-03-10&chair=34&chair=34&section=15&text=85)
12. Ушеров А.И. Разработка способов утилизации отходов производства вторичного алюминия / А.И. Ушеров, В.И. Шишкин, И.В. Шишкин и др. // Окружающая среда и здоровье: Сб. научн. тр. Международного Симпозиума; под ред. проф. В.Д. Черчинцева. Магнитогорск: МГМА, 1998. С. 62-65.

## **ЗАЩИТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ РЕМОНТА, УПЛОТНЕНИЯ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ЭМАЛИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ**

*Краснянская Ю.В., Лазуткина О.Р.  
УрФУ*

Целью данной работы является разработка оптимального состава для ремонта и защиты эмалированного оборудования, работающего в агрессивных кислотных средах.

Для достижения цели была проведена проработка материалов по уже имеющимся видам ремонта эмалированного оборудования, подготовка составов кислотостойких композиций, определены свойства, требуемые для создания качественно отремонтированной поверхности и исследование физико-химических свойств композиций.

По результатам испытаний для подробного исследования был выбран состав на основе диабазовой муки, оксида железа и оксида магния.

Замазка с оксидом железа и магния показала высокую адгезию к металлу и эмали. Кислотостойкость защитной композиции высокая. Состав устойчив к горячим концентрированным серной и соляной кислотам.

Термостойкость состава испытана на температурах до +330 °С.

Влагостойкость составов, обожженных при температурах 260-330 °С, выше, чем у составов, сохнувших во влажной атмосфере, и у составов, твердеющих на воздухе.

По эксплуатационным параметрам данные кислотостойкие композиции можно применить в качестве промазки соединительных фланцев, для защиты мест сварки, для ремонта повреждений на поверхности эмалевого покрытия площадью до 100 см<sup>2</sup> на крупногабаритных эмалированных деталях.

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ИННОВАЦИЙ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ**

*Май Е.П., Мезенцева А.В.  
УрФУ, [ekmaj@yandex.ru](mailto:ekmaj@yandex.ru)*

Общеизвестно, что ресурсосбережение – обобщенное название технологий, в которых технологический процесс обеспечивается при минимальном расходе энергии, затратах на основные и вспомогательные материалы, заработную плату рабочим основного производства при заданном качестве и требуемой производительности труда.

По ГОСТ Р 52104-2003 [1] и ГОСТ Р 53905-2010 [2] ресурсосбережение определяется как организационная, экономическая, техническая, научная, практическая и информационная деятельность, методы, процессы, комплекс организационно-технических мер и мероприятий, сопровождающих все стадии жизненного цикла объектов и направленных на рациональное использование и экономное расходование ресурсов, в том числе – топливно-энергетических.

Однако резкий скачок в повышении общего уровня развития техники и технологий в последнее время, благодаря широкому внедрению компьютерных технологий, заставляет подходить к проблеме и понятию ресурсосбережения в более глобальном смысле. Ресурсосбережение сегодня осуществляется не только путем разработки, внедрения и совершенствования ресурсосберегающих технологий, то есть сокращения расхода природных ресурсов на производство единицы продукции за счет улучшения организации производства, повышения уровня и глубины переработки, но проведением активной и эффективной инновационной политики. Внедрение инноваций способствует сужению технологической многоукладности, вытеснению устаревших технологий и замене их новыми, основанными на достижениях науки и техники, переходу на обеспечение жизнедеятельности общества за счет интеллектуализации труда, повышению его производительности за счет разработки и распространения наукоемких технологий, радикальных и эффективных новшеств в информационных технологиях управления ресурсами, производством, сбытовыми сетями

Высокий уровень обеспеченности российской экономики природными и трудовыми ресурсами несет не только очевидные преимущества, но и явно отрицательные последствия, поскольку вызывал и вызывает к жизни ресурсорасточительные способы производства и значительное отклонение в пользу приоритетного развития отраслей добывающей и перерабатывающей промышленности.

Такая энергорасточительная система хозяйствования, сформировавшаяся в России, привела к тому, что доля энергетической составляющей в структуре себестоимости валового продукта Российской Федерации и стран СНГ составляет около 50 %, в то время как для развитых стран этот показатель составляет менее 5 %.

Эта диспропорция сказывается в первую очередь на конкурентоспособности российских товаропроизводителей. Производители и население несут

при этом двойные потери: во-первых, из-за значительных затрат на энергоресурсы; во-вторых, из-за недополученных доходов как на отечественном, так и на зарубежном рынках.

Повышение благосостояния страны и общества за счет национального дохода, получаемого столь расточительным способом, малопродуктивно и совершенно бесперспективно, поскольку ведет к истощению лучших запасов невозполнимых сырьевых ресурсов. Дальнейшее развитие экономики в этом направлении сдерживается, с одной стороны, сверхпропорционально возрастающими потребностями в инвестициях, которых требуется все больше и больше для поддержания производства в добывающих и перерабатывающих отраслях в силу их высокой капиталоемкости, а с другой стороны, постоянно усиливающимися экологическими требованиями и запретами.

При определении эффективности развития экономики на базе сырьевых отраслей необходимо учитывать тот фактор, что капиталоемкость и себестоимость добытых в специфических географических и климатических российских условиях, например, энергетических ресурсов в 2,5-3 раза выше, а получаемая прибыль соответственно ниже, чем в странах Ближнего Востока.

При таких затратах на добычу и транспортировку конкурентоспособность нашего сырья или продукции первого передела достигается путем занижения доли заработной платы в структуре цены, что сдерживает не только уровень доходов населения, но и его расходов и, следовательно, потребительский спрос, который стимулирует экономический рост.

Кроме этого, необходимо учитывать резкое сокращение (в десятки раз) возможности предприятий для возвращения в производство амортизационных отчислений и части прибыли из-за инфляции, неплатежей, спада производства.

Сократить разрыв между потребностью в инвестициях и ограниченными возможностями накопления для обеспечения капиталовложений можно только путем расширения производства наукоемкой конкурентоспособной продукции. Поэтому инвестирование должно иметь вектор направленности на преимущественное использование ресурсосберегающих технологий.

Особенная роль в этих процессах отводится ресурсосберегающим инновациям. Ресурсосберегающие инновации – это конечный результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде усовершенствованного технологического процесса, направленного на ресурсосбережение, с целью достижения экономического, социального и иного вида эффекта.

Ресурсосберегающие инновации представляются главным инструментом повышения конкурентоспособности фирм и увеличения эффективности производства в целом в стране.

Внедрение инноваций, как важнейшего фактора развития промышленности, является постоянным рефреном экономической политики государства в различные периоды развития истории человечества. Создание материальных богатств и стоимости является целью инноваций. Изменения могут касаться любой сферы, будь то – технология, материалы и др. Они формируют новый спрос для размещения основного капитала в устоявшихся рынках, так как ин-



новации позволяют перемещать ресурсы в сферы с наиболее высокой производительностью и соответственно высокими прибылями.

В результате ресурсосберегающая политика современной экономики любой отрасли должна включать в себя комплекс мер по разработке и реализации технического, экономического, финансового и правового аспектов рационального использования и экономного расходования различных видов ресурсов при отсутствии опасного воздействия на человека и окружающую среду.

Кроме того, внедрение такой политики позволит значительно снизить отходы производства, несанкционированные выбросы вредных веществ и, как следствие, улучшение общей экологической обстановки в промышленно-напряженных зонах и субъектах на территории Российской Федерации.

Однако оценка эффективности ресурсосберегающих инноваций является одной из наиболее сложных проблем инновационного менеджмента, особенно в первичной стадии инновационной деятельности. Традиционная оценка эффективности инноваций основана на количественных методах инвестиционного анализа, который зачастую дает отрицательный результат при отсутствии ярко выраженного коммерческого эффекта, особенно в области ресурсосберегающих инноваций, требующих серьезных материальных затрат на первоначальной стадии внедрения энергосберегающих инновационных технологий.

Анализируя вышеизложенные тенденции, нужно отметить, что назрела необходимость разработки универсальной модели оценки экономического эффекта от внедрения какого-либо рода ресурсосберегающих инноваций. Одним из путей решения поставленной задачи является анализ существующих моделей, их классификация и разработка универсальной модели оценки экономического эффекта от внедрения ресурсосберегающих инноваций в любой отрасли экономики и производства.

#### *Библиографический список*

1. ГОСТ Р 52104-2003 Ресурсосбережение. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 12 с.
2. ГОСТ Р 53905-2010 Энергосбережение. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 14 с.

## **АЗОТНОКИСЛОТНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕКОНДИЦИОННОГО СЫРЬЯ**

*Молодых А.С., Габдуллин А.Н., Никоненко Е.А., Вайтнер В.В.  
УрФУ, [vaitner@yandex.ru](mailto:vaitner@yandex.ru)*

В связи с увеличением потребления различных полезных ископаемых, возникает необходимость поиска новых месторождений сырья. Расширение сырьевых источников возможно не только в результате поиска новых богатых месторождений, но и в результате освоения месторождений более бедных и труднообогатимых руд, переработке ранее накопленных отходов. Представляет интерес вовлечение в производство запасов трудноперерабатываемых руд, (окисленные никелевые руды) и отходов производства (аргиллит и серпентинит), переработка которых традиционными флотационными и пирометаллургическими методами или невозможна, или экономически нецелесообразна.

Так, например, аргиллит Волчанского месторождения можно рассматривать как некондиционное глиноземсодержащее сырье. Серпентинит является отходом асбестообогащительной промышленности и может быть использован в качестве магнезисиликатного сырья. Окисленные никелевые руды Серовского месторождения могут являться источником никеля и других металлов (таблица 1).

Таблица 1

Химический состав сырья

| Определяемый оксид элемента    | Сырье       |          |                           |
|--------------------------------|-------------|----------|---------------------------|
|                                | серпентинит | аргиллит | окисленная никелевая руда |
| SiO <sub>2</sub>               | 42          | 26,30    | 42,7                      |
| MgO                            | 40          | 0,50     | 34,1                      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,9         | 33,00    | 4,1                       |
| FeO                            | 1,0         | 20,52    | 14,8                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,0         | -        | -                         |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,28        | 0,03     | 0,17                      |
| NiO                            | 0,23        | 0,03     | 2,40                      |
| MnO                            | 0,25        | 0,30     | 0,47                      |
| CaO                            | 1,95        | 0,80     | 0,34                      |
| Прочие, в т.ч. п.п.п.          | 8,39        | 18,52    | 0,92                      |

Разработанные способы переработки техногенного сырья основаны на применении в качестве выщелачивающего агента – азотной кислоты. Основными преимуществами азотной кислоты по сравнению с другими кислотами (серной, соляной) являются:

- возможность проведения термического гидролиза, обеспечивающего регенерацию кислоты;
- переработка нитратных растворов позволяет производить более полную очистку растворов от железа, так как нитрат-ион в отличие от сульфатов и хлоридов имеет меньшую склонность к комплексообразованию.

Основные стадии переработки некондиционного сырья имеют ряд сходных переделов.

1. Предварительная обработка сырья включает измельчение, фракционирование, а при переработке глиноземсодержащего сырья также обжиг при температуре 650 – 750 °С.

2. Выщелачивание сырья азотной кислотой. На данном этапе целесообразно использовать 30 – 40 %-ную кислоту. Использование кислоты меньшей концентрации приводит к снижению вскрытия сырья и увеличению материального потока. Применение кислоты большей концентрации приводит к увеличению содержания железа в растворе.

3. Очистка нитратных растворов от сопутствующих компонентов имеет специфику в каждом из рассматриваемых случаев. Переработка растворов азотнокислотного выщелачивания сырья основана на постепенном повышении pH путем добавления нейтрализующих и осаждающих агентов. Это позволяет осаждавать ионы сопутствующих металлов из растворов в виде соответствующих

гидроксидов. В табл. 2 представлены рН начала осаждения некоторых гидроксидов.

Таблица 2

Значения рН осаждения гидроксидов некоторых металлов

| рН начала осаждения | 2                | 4                | 5                | 7                                | 8                |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Гидроксиды          | $\text{Fe}^{3+}$ | $\text{Al}^{3+}$ | $\text{Cr}^{3+}$ | $\text{Ni}^{2+}, \text{Co}^{2+}$ | $\text{Mn}^{2+}$ |

При переработке растворов выщелачивания с целью получения оксида магния в качестве нейтрализатора используют водную суспензию гидроксида магния. При этом рН раствора можно постепенно повысить до 8 – 9. Отделение ионов кальция в виде  $\text{CaCO}_3$  в дальнейшем производится пропусканием углекислого газа через раствор.

Водная суспензия гидроксида магния позволяет осадить гидроксид никеля при переработке растворов выщелачивания никельсодержащего сырья. Гидроксид никеля прокаливают с получением конечного продукта.

При получении глинозема в раствор выщелачивания вводят основной нитрат алюминия, повышая рН до 2,6. Введение его в раствор приводит к осаждению основной массы железа в виде гидроксида железа (III). Доочистка проводится путем сорбции остаточного железа на активированном оксиде железа (III).

Нейтрализаторы (оксид магния и основной нитрат алюминия) получают путем термического гидролиза нитратов магния и алюминия, являющихся промежуточными продуктами в технологическом цикле.

Осадки гидроксидов железа и других металлов могут быть использованы в металлургии.

4. Упаривание и кристаллизация очищенных растворов.

5. Термический гидролиз полученной кристаллической массы. При этом происходит разложение нитратов в атмосфере перегретых паров воды. Газовая фаза, содержащая оксиды азота, кислород и пары воды, конденсируется с образованием азотной кислоты, пускаемой в оборот на стадию выщелачивания.

Термический гидролиз нитрата магния проводят при температуре не менее  $450^\circ\text{C}$ . В результате получается оксид магния.

При переработке нитрата алюминия температура не должна превышать  $300^\circ\text{C}$ .

6. Получение глинозема включает также стадию отмывки глиноземсодержащего продукта водой от нитратов щелочных и щелочноземельных металлов и кальцинацию с получением глинозема. Оставшиеся промывные воды могут быть упарены с получением смеси нитратов, которые могут быть использованы в качестве азотных удобрений.

Результатом является получение ценных продуктов: при переработке магнезисиликатного сырья – высокочистого оксида магния, чистого высокодисперсного кремнезема, смеси оксидов металлов, применимых в металлургии; при переработке окисленных никелевых руд – оксида никеля или его концентрата, кремнезема, оксидов металлов; при переработке глиноземсодержащего сырья – глинозема, оксидов металлов, кремнезема, азотных удобрений.

Данный метод переработки позволяет комплексно перерабатывать отходы и руды, имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими гидрометаллургическими способами:

- возможность регенерации выщелачивающего агента и осадителя;
- комплексность переработки;
- меньшие энергозатраты по сравнению с высокотемпературными автоклавными способами переработки.

## **ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗУЮЩЕГО СИГНАЛА НА ДИНАМИКУ РОСТА ДЕНДРИТНЫХ ОСАДКОВ ЦИНКА**

*Никитин В.С., Останина Т.Н., Рудой В.М.*

*УрФУ, el-chem@mail.ustu.ru*

Цинкнаполненные композиционные материалы используются для защиты от коррозии стальных конструкций. Большим преимуществом таких покрытий является комплексный механизм защиты, сочетающий в себе изолирующее действие полимерной пленки связующего и протекторное действие наполнителя – порошка цинка. Условием реализации электрохимического механизма защиты является электропроводность ЦНК, которая достигается при высоком содержании порошка цинка. Однако высокое содержание цинка ведет к ухудшению адгезионных свойств покрытий и высоким затратам на производство цинкнаполненных композиций. Использование высокодисперсных электролитических порошков цинка, имеющих развитую поверхность, позволит снизить концентрацию пигмента без ухудшения защитных свойств покрытий, что приведет к снижению стоимости цинкнаполненных композиций. Одним из путей влияния на структуру и свойства электролитических порошков является величина и форма поляризующего сигнала.

Целью данной работы является сравнение динамики роста цинковых электролитических порошков, полученных при постоянном токе, постоянном потенциале, а также в условиях импульсного электролиза.

Для изучения динамики развития дендритных осадков цинка была использована установка, позволяющая одновременно регистрировать изменение потенциала (или тока) электрода, проводить видеозапись роста осадка и фиксировать объем выделяющегося водорода. В центр цилиндрической ячейки подводился штырьковый катод высотой 1 см, изготовленный из цинковой проволоки диаметром 2 мм. По краю ячейки располагали кольцевой цинковый анод. Поляризационные измерения проводили с помощью потенциостата Solartron 1280С. Потенциал измеряли относительно цинкового электрода сравнения. Осадки получали из цинкатного электролита, содержащего 0,3 моль/л  $ZnO$  и 4 моль/л  $NaOH$ . В гальваностатических режимах поляризующий ток в 6 раз превышал величину предельного диффузионного тока. При использовании потенциостатических условий поддерживали постоянное перенапряжение – 0,38 В, которое соответствовало уровню диффузионных ограничений гальваностатического электролиза.

Анализ видеозаписи процесса роста осадка позволил установить зависимость высоты слоя дендритного осадка от времени (рис. 1) и рассчитать объем осадка. По данным волюмометрических измерений определяли выход по току водорода, что позволило оценить выход по току цинка и рассчитать изменение массы осадка в процессе электроосаждения. В качестве параметра, характеризующего структуру осадка, использовали приведенную плотность осадка ( $\rho_{пр}$ ), которую рассчитывали как отношение массы металла к изменению габаритного объема осадка за фиксированный промежуток времени. Данные по изменению плотности осадка по его толщине, представленные на рис. 2, позволяют судить об изменении структуры дендритных частиц.

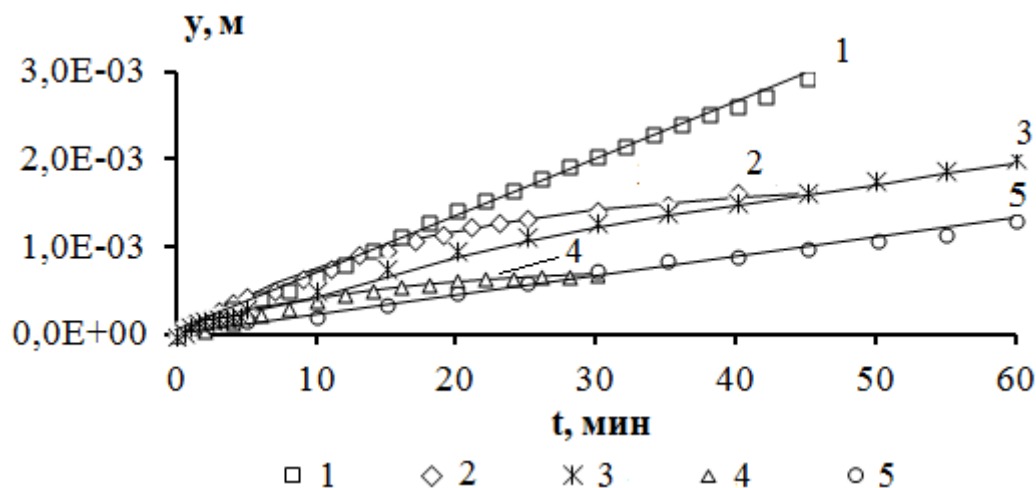


Рис. 1. Изменение длины дендритов осадка цинка при разном типе поляризации.  
Режимы поляризации: 1 – потенциостатический;  
2 – гальваностатический; 3 – смешанный; 4 – импульсный ток;  
5 – импульсный потенциал

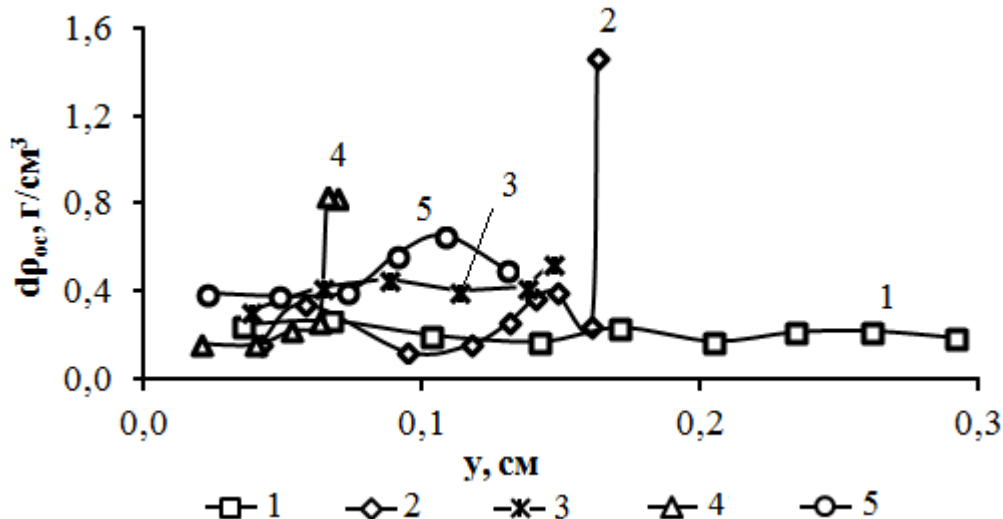


Рис. 2. Зависимости дифференциальной плотности от длины дендритов для разного типа поляризации. Обозначения те же, что на рис. 1

*Гальваностатический режим.* В процессе кристаллизации дендритного осадка на цилиндрическом электроде происходит увеличение поверхности

фронта роста и, как следствие, закономерное снижение диффузионных ограничений. Характерной особенностью динамики роста дендритов в условиях поляризации постоянным током является постепенное замедление скорости удлинения дендритов, что при длительном осаждении может привести к образованию сплошной корки компактного металла на фронте роста осадка. Этот вывод подтверждают расчеты плотности осадка: при достижении дендритами конечной длины плотность резко возрастает.

*Потенциостатический режим.* Задание постоянного перенапряжения позволяет поддерживать в течение всего электролиза высокий уровень затруднений по доставке разряжающихся ионов, при этом ток увеличивается во времени по линейной зависимости, а скорость роста дендритов остается практически постоянной. Дендритные осадки цинка имеют низкую приведенную плотность, не меняющуюся по толщине, что свидетельствует о разветвленной структуре частиц.

*Импульсный гальваностатический режим* представлял собой чередование импульсов тока и пауз одинаковой длительности 15с/15с. За время паузы ионы цинка диффундируют внутрь пористого осадка, что приводит к увеличению величины поверхности, на которой происходит восстановление металла в следующем импульсе тока и снижение уровня диффузионных затруднений. Это обуславливает быстрое прекращение роста дендритов в длину и рост плотности осадка.

*Импульсный потенциостатический режим* заключался в чередовании импульсов потенциала с амплитудой -0,38 В и пауз длительностью 30с/30с. Характерной особенностью этого режима является то, что в периоды пауз фиксировали анодные токи, причем через 60 минут величины катодных и анодных токов становились сопоставимыми. Скорость удлинения дендритов была невелика, но постоянна во времени. Анодное растворение металла за время паузы с одной стороны приводит к усилению разветвленности частиц, а с другой стороны способствует накоплению ионов цинка. Вследствие этого образуются дендритные осадки большой плотности, состоящие из мелких, но более компактно расположенных частиц.

*Смешанный режим.* В течение 5 минут электрод поляризовали постоянным током, а затем осаждение осуществляли в условиях импульсного задания постоянного потенциала. Это привело к увеличению скорости роста осадка по сравнению с импульсным потенциостатическим режимом и уменьшению приведенной плотности.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что тип поляризующего сигнала оказывает существенное влияние на динамику электрокристаллизации дендритов, структуру частиц и величину плотности осадка.

Таким образом, правильный выбор режима электролиза позволит получить порошок цинка, содержащий мелкие частицы разветвленной формы. Использование таких частиц в качестве пигмента приведет к существенному снижению содержания дорогостоящего пигмента в цинкнаполненных композициях с сохранением высоких защитных свойств.

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛА

Орлов П.А.  
УрФУ, orlovpavel91@mail.ru

Согласно исследованиям маркетингового агентства «Discovery Research Group», общий объем рынка теплоизоляции в России в данный момент составляет порядка 20-25 млн м<sup>3</sup> в год в натуральном выражении. По доле продукции на рынке теплоизоляционных материалов можно выделить три сегмента: теплоизоляции на основе минеральной ваты, на основе стекловолокна (стекловата) и на основе пенополистиролов (вспененного и экструдированного). Все вышеупомянутые теплоизоляционные материалы обладают рядом недостатков, а в некоторых областях строительства имеют ограничения по применению. В связи с этим встает вопрос об использовании новых материалов, лишенных недостатков и имеющих наиболее широкий диапазон применения. Наиболее перспективным материалом представляется пеностекло.

Пеностекло – высокопористый теплоизоляционный материал, полученный из смеси тонкоизмельченного стекла и газообразователя, выпускаемый в виде блоков и гранул. Этот материал обладает высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, негорючестью, влагонепроницаемостью, огне- и биостойкостью, высокой механической прочностью [1]. В табл. 1 приведены сравнительные данные по свойствам различных теплоизоляционных материалов [2].

Таблица 1

Технические характеристики теплоизоляционных материалов

| Наименование изделий                         | Плотность, кг/м <sup>3</sup> | Прочность на сжатие, кг/см <sup>3</sup> | Теплопроводность, Вт/м·°С | Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па) | Сгораемость    | Экологическая оценка | Предел температур, °С | Долговечность |
|--|------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------|
| Плиты теплоизоляционные из мин. ваты         | 200                          | 0,4 – 1,2                               | 0,066 – 0,06              | 0,38 – 0,6                     | Трудно сгорает | Токсичен при горении | 100                   | 7-10 лет      |
| Плиты минералов. повышенной жесткости        | 200                          | 1,0                                     | 0,045                     | 0,58                           | Трудно сгорает | Токсичен при горении | 200                   | 10-12 лет     |
| Плиты из стекл. штап. волокна                | 175 - 200                    |   | 0,049                     |                                | Трудно сгорает | Токсичен при горении | 180                   | 7 – 10 лет    |
| Пенополистирол                               | 20 – 40                      | 0,5 – 1,5                               | 0,038 – 0,04              | 0,05                           | Сгорает        | Токсичен при горении | 70                    | 10-12 лет     |
| Пенополиуретан                               | 40 – 40                      | 1,2 – 2                                 | 0,035                     |                                |                |                      | 200                   |               |
| Ячеистые неорганические материалы, пенобетон | 350                          | 7-8                                     | 0,090 – 0,10              | 0,23                           | Не сгорает     | Экологически чистый  | 350                   | 15            |
| Пеностекло:                                  |                              |   |                           |                                |                |                      |                       |               |
| - блоки                                      | 120 – 200                    | ≥7                                      | 0,05-0,08                 | 0,001 – 0,004                  | Не сгорает     | Экологически чистое  | 500                   | Неограничен   |
| - гравий                                     | 80-100                       | 5-10                                    | 0,03-0,05                 |                                |                |                      |                       |               |

Из табл. 1 видно, что по совокупности технических характеристик пено-стекло является наиболее эффективным теплоизоляционным материалом.

В табл. 2 приведены данные по стоимости одного метра кубического теплоизоляционного материала [3].

Таблица 2

Средняя стоимость 1 м<sup>3</sup> материала в России

| Утеплитель  | Стоимость 1 м <sup>3</sup> , руб. |
|---|-----------------------------------|
| Пеностекло в изделиях<br>(плиты, блоки, фасонные изделия) | 4300–5500                         |
| Пеностекло в гранулах                                     | 2000–3130                         |
| Пенополистирол  | 1540–2400                         |
| Минеральная вата  | 1050–1200                         |
| Минеральная плита   | 4300–5600                         |
| Базальтовая плита   | 4100–5450                         |
| Базальтовая вата  | 2100–2600                         |
| Керамзит насыпной М400                                    | 800–900                           |
| Керамзитобетон  | 2400–2800                         |
| Пенобетонные блоки  | 1700–2600                         |

На цену готового изделия может влиять состав исходного сырья и способ производства. Во многих странах мира проводятся работы, направленные на снижение себестоимости производства пеностекла за счет использования стеклобоя, а также недефицитных и дешевых вспенивателей.

Несмотря на все неоспоримые достоинства пеностекла, в России нет ни одного крупного завода, выпускающего этот материал. Причиной является отсутствие надежной технологии, обеспечивающей получение пеностекла с заданными и стабильными свойствами. К тому же отсутствует дешевое и недефицитное сырьё. Поэтому вопросы создания сырьевой базы и высокоэффективного оборудования для производства такого качественного теплоизоляционного строительного материала, как пеностекло, являются актуальными.

Развитие производства и особенно экспорта потребовало улучшения качества продукции и совершенствования технологии. В настоящее время в большинстве стран мира, в том числе и в нашей стране, наибольшее распространение получил порошковый метод производства пеностекла при раздельном способе вспенивания блоков в жаростойких формах и последующего отжига в конвейерных печах.

В ЗАО «Стромизмеритель» для группы компаний *DIAMIX*, в состав которой входит научно-технический центр, диатомовый комбинат и крупнейшее в Европе Инзенское месторождение диатомита в Ульяновской области, разработан технологический проект завода, предусматривающий использование этого сырьевого материала для изготовления стеклогранулята, являющегося промежуточным продуктом в производстве высококачественного пеностекла по порошковой технологии. В соответствии с проектом



строительство и пуск завода по производству 100 т стеклогранулята в сутки должны осуществляться в одну очередь на свободных площадках диатомового комбината, расположенного в непосредственной близости от карьера [4].

Таким образом, создание новых технологий по производству пеностекла и внедрение их в промышленном масштабе должны привести к увеличению объемов производства, а, следовательно, к полноценному выходу пеностекла на рынок теплоизоляционных материалов. Это в дальнейшем приведет к сбережению средств и ресурсов на обогрев помещений, долговечности зданий и сооружений и увеличению экологической безопасности человека и окружающей среды.

#### *Библиографический список*

1. Шилл Ф. Пеностекло. М.: Стройиздат, 1965. 307 с.
2. Технология стекла. Справочные материалы: Справочное пособие / Под ред. П.Д. Саркисова, В.Е. Маневича, В.Ф. Солинова, К.Ю. Субботина. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2012. 647 с.
3. Пучка О.В. Оценка качества и стоимости теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций зданий и сооружений / О.В. Пучка, Я.Г. Наумова, М.Н. Степанова // Строительные материалы. 2008. № 12. С. 42–44.
4. Ефременков В.В. Разработка технологии изготовления стеклогранулята для производства пеностекла / В.В. Ефременков, В.Е. Маневич, Р.К. Субботин // Стекло и керамика. 2012. № 9. С. 9–13.

## **СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО**

*Попова А. А., Белоусова О. А.  
УрФУ, belilaei@mail.ru*

Традиционное сырье для получения битумов – гудроны и мазуты. Но парафинистые нефти в качестве сырья считаются малопригодными, так как при окислении сырья из такой нефти не удастся получать битум с высокими показателями и значительно увеличивается время окисления сырья. Традиционная технология получения битумного вяжущего предполагает стадию окисления сырья (получение битума), затем добавление наполнителя (получение битумного вяжущего) и далее – получение асфальтобетона.

Поиск и анализ исследований окисления нефтяного сырья показал, что авторы работы [1] предлагают в качестве сырья для получения дорожного битума взять мазут парафинистой нефти с добавками природного цеолита и горючего сланца в качестве катализатора и наполнителя одновременно. Физико-химические свойства полученного битумного композита соответствуют по своим свойствам битуму дорожному БНД 60/90.

Установлено, что наиболее полно и интенсивно мазут окисляется при содержании в исходной смеси добавок 25 % мас. горючего сланца и 5 % мас. цеолита. В ходе проведения испытаний авторами были подобраны оптимальные условия процесса:  $t_{\text{окисления}} = 250^{\circ}\text{C}$ , расход воздуха – 7,5 л/мин на кг сырья,

время окисления – 3 часа. На существующих предприятиях условия процесса окисления гудрона несколько иные:  $t_{\text{окисления}} = 250^{\circ}\text{C}$ , расход воздуха – 2,03 л/мин на кг сырья, время окисления – 3,5 часа.

Таким образом, технология окисления мазута с добавками цеолита и горючего сланца позволяет использовать высокопарафинистый мазут и получать битумное вяжущее, отвечающее первой стадии процесса двухстадийного приготовления асфальтобетонов.

Для определения количественных характеристик новой технологии проведено сравнение технологии окисления мазута с добавками цеолита и горючего сланца с известной технологией получения битума из гудрона. Для сравнения был составлен материальный баланс установок по следующим стадиям:

- расчет расхода воздуха;
- расчет выхода битума;
- расчет выхода отходящих газов;
- расчет выхода черного соляра;
- определение потерь при производстве;
- сводный материальный баланс окислительной колонны.

Сводный материальный баланс существующей установки окисления гудрона и предлагаемой для внедрения установки окисления мазута с добавками приведен в таблице.

Материальный баланс установок окисления

| Установка окисления мазута с добавками | Единица измерения, кг/ч | Установка окисления гудрона | Единица измерения, кг/ч |
|--|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Приход:                                |                         | Приход:                     |                         |
| - мазут                                | 32491,3                 | - гудрон                    | 32491,3                 |
| - сланец                               | 11604,0                 |                             |                         |
| - цеолит                               | 2320,8                  |                             |                         |
| - воздух                               | 17545,3                 | - воздух                    | 4689,3                  |
| Итого:                                 | 63961,4                 | Итого:                      | 37180,6                 |
| Расход:                                |                         | Расход:                     |                         |
| битумное вяжущее, в т.ч.               | 53407,4                 |                             |                         |
| - битум                                | 39482,6                 | - битум                     | 31760,2                 |
| - цеолит                               | 2320,8                  |                             |                         |
| - сланец                               | 11604,0                 |                             |                         |
| отгон, в т.ч.                          | 10443,6                 | отгон, в т.ч.               | 5339,1                  |
| - пары воды                            | 3172,6                  | - пары воды                 | 1063,7                  |
| - отходящие газы                       | 1112,9                  | - отходящие газы            | 3787,6                  |
| - черный соляр                         | 6158,1                  | - черный соляр              | 487,8                   |
| Потери                                 | 110,4                   | Потери                      | 81,3                    |
| Итого:                                 | 63961,4                 | Итого:                      | 37180,6                 |

Анализ материальных балансов показывает, что при одинаковой производительности по основному сырью (мазут/гудрон), каталитические свойства горючего сланца и природного цеолита позволяют обеспечить более полное окисление мазута при повышенном расходе воздуха, что приводит к увеличению ресурсов битума на 24 % мас. Кроме того, по новой технологии добавка горючего сланца и природного цеолита остается в продукте в качестве минерального наполнителя, что позволяет получить в одну стадию не битум, а битумное вяжущее, которое в настоящее время получают на первой стадии процесса приготовления асфальтобетона.

Таким образом, новая технология позволяет использовать ресурсы ранее считавшегося непригодным парафинистого сырья, увеличить выход битумного вяжущего, сократить одну из технологических стадий получения асфальтобетона.

#### *Библиографический список*

1. Горлов Е.Г. Окислительный термолиз мазута с активирующими органоминеральными добавками / Е.Г. Горлов, А.С. Котов, А.В. Руденский // Химия твердого топлива. 2009. № 1. С. 31-38.

## **ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЦИНКСОДЕРЖАЩЕЙ ПЫЛИ ДСП**

*Путенихина О.А., Тихонов А.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
missolesya91@yandex.ru*

В настоящее время цинксодержащие пыли ДСП практически никак не перерабатываются, а просто складываются в шламоотвалах, загрязняя окружающую среду и не принося никакой прибыли. При этом стоимость 1 т цинка около 40 000 рублей. С 1 млн т стали образуется до 20 тыс. т пыли, в которой содержится до 5 тыс. т цинка, это связано с увеличением в составе шихты доли оцинкованного металлолома.

Таким образом, целесообразно производить извлечение цинка из пыли ДСП с целью ресурсосбережения в сталеплавильном производстве.

Существуют различные технологии извлечения цинка из пыли ДСП, однако основным недостатком известных способов переработки пыли ДСП является выход цинка в оксидной форме, что резко ухудшает экономическую эффективность способа. Однако существует способ переработки пыли ДСП с получением металлического цинка. Так, например, на предприятии НПП «Энерготерм-система» осуществлена проработка технологической линии переработки пыли ДСП. Линия состоит из оборудования производства брикетов, герметичной руднотермической печи, холодильника, оборудования пылеулавливания.

Расчеты показали, что данная технологическая линия позволяет получать из 1 т пыли 218 кг железа, 141 кг цинка и 7 кг свинца. Энергетические затраты на осуществление процесса составляют 1228 кВт·ч на т пыли [1]. Такое высокое

значение затрат заставляет задуматься о необходимости проведения обогащения оксидов цинка в пыли, извлекая в первую очередь оксид железа, содержание которого достигает 70 % от всей массы пыли.

#### *Библиографический список*

1. Ковалев В.Н. Технология переработки цинксодержащей пыли электросталеплавильных печей // XII Конгресс сталеплавателей: Сб. трудов. М: Metallurgizdat, 2013. С. 350-351.

## **ПОИСК ВРЕМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРНЫХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Путров А.О., Земляной К.Г.  
УрФУ*

Целью данной работы является поиск альтернативных временных связующих для производства огнеупоров. Необходимость замены ЛСТ, возникла из-за повышения ее цены на рынке и ухудшения ее свойств. За последние 5 лет цены на ЛСТ возросли в 2 раза и продолжают расти.

Исследовали влияние типа и количества связующего на прочность и плотность формованных изделий различных марок после прессования («сырца») и после обжига при температуре 1650 °С.

На первом этапе работы рассмотрены 8 различных связующих: производства ОАО «Полипласт» – Термопласт 5СВ кислый, 5СВ щелочной, 1СВ и 2СВ сухой; водный раствор эпсомита (различной плотности), раствор сахара, меласса, АХФС.

В результате установлено, что для хромитопериклазовых изделий оптимальным вариантом стала связка ОАО «Полипласт» марки Термопласт 5СВ щелочной, а для периклазовых изделий – Термопласт 5СВ кислый. Замена ЛСТ на указанные связующие позволяет снизить себестоимость производства на 10 % при увеличении прочности на 300 % и уменьшении открытой пористости на 4 %.

Кроме того, установлена возможность снижения давления прессования для обеспечения той же плотности изделий, что позволяет уменьшить износ прессформ и увеличить межремонтный период прессового оборудования.

## **ГИДРОКРЕКИНГ КАК ПРОЦЕСС УГЛУБЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ**

*Сафонов Ю.В., Кирсанов Ю.Г.  
УрФУ, y.g.kirsanov@ustu.ru*

Нефтяная промышленность является одной из ключевых отраслей экономики России. По объемам добычи нефти страна занимает первое место в мире,

добывая более 500 млн т нефти, но не имеет производственных мощностей для ее полной комплексной переработки. Мощности процессов вторичной переработки составляют менее 70 % от мощности первичной переработки, а доля процессов, увеличивающих выход светлых нефтепродуктов, составляет чуть более 20 %. На многих заводах отсутствуют такие процессы вторичной переработки нефти как каталитический крекинг, гидрокрекинг, являющиеся основными процессами вторичной переработки Европе и в США.

Для обеспечения конкурентной способности продукции отечественных предприятий на российском и мировом рынках необходима модернизация нефтеперерабатывающих предприятий, направленная на внедрение процессов глубокой переработки нефти с получением экологически чистых топлив. К таким процессам относятся процессы каталитического крекинга фракций вакуумного газойля и гидрокрекинг тяжёлых фракций нефти (прямогонный вакуумный газойль, мазут) и другие процессы.

В процессе гидрокрекинга одновременно с крекингом молекул сырья происходит очистка продуктов от серы, насыщение олефинов и ароматических соединений водородом, что обуславливает высокие эксплуатационные и экологические характеристики получаемых топлив, соответствующие требованиям европейских норм. В настоящее время гидрокрекинг можно рассматривать как один из самых гибких процессов переработки нефтяного сырья.

В ходе гидрокрекинга сырья одновременно протекают такие химические превращения, как гидрогенолиз гетероатомных соединений и гидродегидрирование, так и реакции разрыва углеродных цепочек, сопровождающиеся малозаметным процессом коксообразования. Реакции ароматизации и поликонденсации с образованием кокса, при высоких давлениях водорода и при пониженных температурах, затруднены из-за термодинамических ограничений и гидрирования коксогенных компонентов.

Чрезвычайно важная роль в процессах гидроочистки и гидрокрекинга принадлежит катализаторам. Ассортимент современных катализаторов достаточно широк, что объясняется разнообразием сырья и назначением процесса. Катализатор содержит кислотный компонент, выполняющий крекирующую и изомеризующую функции, в качестве которого используются твёрдые кислоты, входящие в состав катализаторов крекинга: цеолиты, алюмосиликаты и оксид алюминия. Кислотную функцию катализатора промотируют  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{BF}_3$ . Гидрирующим компонентом служат металлы VIII (Ni, Co, иногда Pt, или Pd) и VI групп (Mo или W). Для активирования катализаторов гидрокрекинга используют также разнообразные промоторы: Re, Ru и другие редкоземельные металлы.

Наилучшие результаты гидрокрекинга достигаются при использовании катализаторов с высокой кислотной и оптимальной гидрирующей активностями, основные достоинства которых применительно к промышленным видам сырья заключаются в следующем:

- особенно низок выход легких парафинов – метана и этана;
- бутановая фракция содержит 60-80 % изобутана;
- пентановая и гексановая фракции на 90-95 % состоят из изомеров. В результате чего лёгкий бензин, содержащий около 90 % парафинов, 10-20 %

нафтенов и около 5 % бензола, имеет достаточно высокие антидетонационные характеристики (ОЧИМ 85-88);

- бензины  $C_7$  и выше содержат 40-50 % нафтен, 0-20 % ароматических углеводородов и являются высококачественным сырьём каталитического риформинга;

- керосиновые фракции ввиду высокого содержания изопарафинов и низкого содержания бициклических ароматических углеводородов являются высококачественным топливом для реактивных двигателей;

- дизельные фракции содержат мало ароматических углеводородов, имеют высокие цетановые числа и относительно низкие температуры застывания.

Большое значение в промышленной практике уделяется катализаторам на основе цеолитов, которые обладают высокой крекирующей активностью и хорошей избирательностью, за счет высокой концентрации активных кислотных центров в кристаллической структуре.

Аппаратурное и технологическое оформление промышленных процессов гидрокрекинга в значительной степени определяют свойства сырья: фракционный состав, содержание серы, азота, металлов, коксуемость.

Фракционный состав определяет тип применяемого катализатора и спектр получаемой продукции и условия проведения процесса. Утяжеление фракционного состава сырья требует повышения давления, температуры и водорода. Переработка сырья с содержанием азота более 0,02 % требует проведения предварительной гидроочистки при более жестких условиях, по сравнению с процессом гидрообессеривания, так как соединения азота отличаются высокой устойчивостью. Металлы, содержащиеся в сырье, способны необратимо дезактивировать активные центры катализатора, поэтому необходимо проводить деме-таллизацию сырья.

Важны также температурные пределы выкипания нефтяных дистиллятов, поскольку с ростом средней температуры кипения увеличивается содержание ароматических углеводородов, а также гетероатомных соединений. Сырьё, поступающее на гидрокрекинг, не должно содержать высокомолекулярных конденсированных соединений, а также смол и асфальтенов, поскольку превращение таких соединений приводит к образованию кокса на поверхности катализатора и приводит к его дезактивации. Содержание данных соединений в небольших количествах в вакуумных дистиллятах и деасфальтизатах не оказывает существенного влияния на процесс гидрокрекинга. Если содержание коксогенных компонентов велико, то сырьё необходимо подвергать предварительной подготовке – удалению асфальто-смолистых веществ и гидроочистке.

Технологические параметры процесса гидрокрекинга определяют качество и выход целевых продуктов, работоспособность установки и эффективность использования сырья, материалов и энергии. Такими параметрами являются температура процесса, парциальное давление водорода, объёмная скорость подачи сырья, кратность циркуляции водородсодержащего газа, расход водорода.

При низких температурах степень превращения сырья невелика из-за малой скорости реакций крекинга, но повышается селективность процесса. В продуктах процесса возрастает доля углеводородов изомерного строения и содержание наftenов. С ростом температуры увеличивается скорость реакций деструкции углеводородов, что приводит к снижению селективности процесса, увеличению степени превращения сырья в лёгкие продукты и росту коксообразования. Оптимальный интервал температур для ведения процесса гидрокрекинга составляет от 320 до 460 °С с постепенным повышением температуры от нижней границы к верхней границе по мере активности катализатора. Объёмная скорость подачи сырья связана с температурой процесса и в большинстве современных процессов гидрокрекинга составляет от 0,3 до 2,0 ч<sup>-1</sup>.

Величина давления водорода зависит от происхождения сырья: чем больше содержание в сырье серы, азота и ароматических углеводородов, тем выше требуется давление водорода в процессе гидрокрекинга. В случае переработки тяжёлых нефтяных дистиллятов, оптимальным является давление около 10–15 МПа. Если в качестве сырья используются продукты с высоким содержанием, как ароматических углеводородов, так и тяжёлых металлов, то процесс гидрокрекинга должен проводиться при давлениях около 20–30 МПа. На величину давления в процессе гидрокрекинга нефтяных дистиллятов оказывает влияние также содержание водорода в водородсодержащем газе. При пониженном содержании водорода в газе необходимо повышать общее давление для достижения необходимого парциального давления водорода. В современных установках гидрокрекинга применяют водородсодержащий газ с содержанием водорода более 90 %.

Перспектива широкого внедрения процесса гидрокрекинга в нефтепереработку потребует организации производств получения водорода, с использованием термokatалитических методов. Прежде всего, процессов паровой конверсии природного газа, сухих нефтезаводских газов или нефтяных остатков.

## **ГИДРОКРЕКИНГ СМЕСИ ГАЗОЙЛЕЙ С РЕЦИКЛОМ ОСТАТОЧНОГО ПРОДУКТА**

*Сафонов Ю. В., Кирсанов Ю. Г.  
УрФУ, y.g.kirsanov@ustu.ru*

На мировом рынке технологий имеется большое количество технологий переработки углеводородного сырья в процессе гидрокрекинга, предлагаемых фирмами-лицензиарами. Большая часть из них являются иностранными компаниями, такими как Honeywellcompany, ChevronLummusGlobal, Americanpetroleuminstitute (США), JFP и Axens (Франция). Предлагаемые ими технологии отличаются высокой энергоэффективностью, гибкостью и нашли широкое распространение в промышленности.

Технологические схемы гидрокрекинга отличаются по способу организации контакта реакционной массы и катализатора, по глубине превращения сырья, по числу ступеней реакторного блока.

Предлагаемые лицензиарами технологические решения на данный момент не имеют существенных отличий по показателям качества продукции, продолжительности межрегенерационного периода, качеству используемых катализаторов, материалам, применяемым при изготовлении реакторов. Поэтому, основными критериями выбора лицензиара становятся энергоэффективность и опыт промышленного внедрения процессов.

Нами проработан вариант двухступенчатой установки гидрокрекинга смеси прямогонного вакуумного газойля и газойля с установки замедленного коксования, поступающих с установок по переработке малосернистой западносибирской нефти. Проектная мощность установки принята 1200 тыс. т сырьевой смеси газойлей в год (80 % вакуумный газойль и 20 % газойль процесса замедленного коксования).

Свойства сырьевой смеси представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели качества сырья установки гидрокрекинга

| Показатель                | Единица измерения | Значение |
|---------------------------|-------------------|----------|
| Плотность                 | г/см <sup>3</sup> | 0,9188   |
| Содержание серы           | % мас.            | 1,81     |
| Содержание азота          | мг/кг             | 1100     |
| Коксуемость по Конрадсону | % мас.            | 0,25     |

Температуры кипения сырьевой смеси находятся в интервале температур от 346 до 576 °С.

Для обеспечения производства максимального количества дизельного топлива принято решение использования схемы полной конверсии сырьевой смеси, что потребовало включения в реакторный блок трех реакторов:

- реактор Р-1 для гидроочистки сырья и частичной его конверсии;
- реактор Р-2 для гидрокрекинга очищенного сырья;
- реактор Р-3 для крекинга остаточного продукта, выводимого из фракционирующей колонны.

Для организации процессов гидроочистки и гидрокрекинга приняты катализаторы фирмы Axens.

В реактор Р-1 загружен катализатор HDK 776, который относится к группе алюмоникельвольфрамовых катализаторов и позволяет достичь глубокой степени гидрообессеривания и гидродеазотирования вакуумного газойля. При использовании данного катализатора протекают также процессы легкого гидрокрекинга сырья. Для удаления металлов, солей, а также ПАУ из потока сырья солей, а также ПАУ из потока сырья, в зону фильтрации загружен катализатор HF 858 (алюмоникелькобальтмолибденовый). Для полного удаления мышьяка в зону фильтрации также загружен слой катализатора АСТ (никельмолибденовый).



В реакторе Р-2 первой ступени гидрокрекинга загружен катализатор НРК 558 (аморфный никельмолибденовый), селективный относительно получения среднестиллятных фракций моторных топлив и легко регенерируемый.

В качестве катализаторов второй ступени гидрокрекинга в реакторе Р-3 используется катализатор НУК 732 (цеолитный никельмолибденовый).

Рабочие параметры установки гидрокрекинга приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рабочие параметры установки гидрокрекинга смеси газойлей

| Параметр                                       |                | Ед. изм.                | Значение |
|--|----------------|-------------------------|----------|
| Температуры в реакторах                        | Первая ступень | $^{\circ}\text{C}$      | < 390    |
|  | Вторая ступень |                         | < 420    |
| Давление (избыточное)                          |                | МПа                     | 15       |
| Объёмная скорость подачи сырья                 | Первая ступень | $\text{ч}^{-1}$         | 1,7      |
|  | Вторая ступень |                         | 1,5      |
| Кратность циркуляции водорода                  |                | $\text{м}^3/\text{м}^3$ | > 450    |
| Чистота подпиточного водорода                  |                | % мол.                  | 99,99    |
| Концентрация водорода в водородсодержащем газе |                | % мол.                  | 94       |

Для определения необходимого количества водородсодержащего газа (квенчинга), подаваемого на охлаждение реакционной массы в пространство между слоями катализатора, выполнены расчеты материально-тепловых балансов реакторного блока. Выполнение расчетов велось с использованием программы Aspenhysys компании Aspentech, которая широко используется в химической технологии, нефтепереработке. В нашем случае свойства таких потоков сырья, как фракция нефти, фракция дизельного топлива, исходное сырье, рециркулят моделировались путем задания компонентов в виде непрерывно кипящих смесей с определенными температурами кипения. Для описания фазового равновесия было использовано уравнение состояния Пенга-Робинсона. Каждой температуре кипения программа ставит соответствующее гипотетическое соединение, имеющее определённую молекулярную массу, коэффициенты уравнений состояния и другие физические свойства. Фракция нефти представлена как непрерывно кипящая смесь (30-120  $^{\circ}\text{C}$ ) с шагом 10  $^{\circ}\text{C}$ . Фракция дизельного топлива представлена как непрерывно кипящую смесь (130-340  $^{\circ}\text{C}$ ) с шагом 10  $^{\circ}\text{C}$ . Исходная смесь газойлей моделировалась на основании исходных данных о составе сырьевой смеси газойлей.

Алгоритм проведенных расчетов включал следующие последовательные операции:

- расчет состава водородсодержащего газа, его мольной массы;
- расчет потребления водорода во всем процессе, а также отдельно на реакции гидроочистки и гидрокрекинга;
- расчет минимально допустимой кратности циркуляции водорода и водородсодержащего газа;

- расчет материально-тепловых балансов слоев катализатора в реакторном блоке;
- расчет суммарного материального баланса установки;
- расчет распределения загрузки катализатора по реакторам, расчет геометрических размеров реакторов, минимально допустимых толщин обечаек.

Суммарный материальный баланс установки гидрокрекинга представлен в табл. 3.

Таблица 3

Суммарный материальный баланс установки гидрокрекинга

| Приход              |            |            | Расход                                  |            |            |
|---------------------|------------|------------|---|------------|------------|
| Сырье               | %<br>масс. | тыс. т/год | Продукция                               | %<br>масс. | тыс. т/год |
| Вакуумный газойль   | 64,08      | 1020000    | Топливный газ                           | 0,90       | 14195      |
| Тяжёлый газойль УЗК | 11,31      | 180000     | Фракция C <sub>3</sub> - C <sub>4</sub> | 4,30       | 68135      |
| ЦВСГ                | 24,61      | 391680     | Нафта                                   | 7,90       | 125165     |
|                     |            |            | Дизельная фракция                       | 62,00      | 989925     |
|                     |            |            | H <sub>2</sub> S                        | 1,44       | 22800      |
|                     |            |            | Тяжелый остаток                         | 0,37       | 5880       |
|                     |            |            | ЦВСГ                                    | 22,57      | 357360     |
|                     |            |            | Потери                                  | 0,52       | 8225       |
| Всего               | 100        | 1591680    | Всего                                   | 100        | 1591680    |

Выход дизельной фракции, которая является целевым продуктом процесса, составляет 62 %, а ее качество соответствует нормам Евро-4. Сероводородная фракция направляется на получение серы по методу Клауса. Фракция нафты направляется на установку каталитического риформинга для получения качественного базового бензина.

## ПОДБОР РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНО-СЕРНОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА, СОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМ ВОДОПОДГОТОВКИ

*Сысоев В.С., Ютик А.С., Кузнецова А.А., Герасимова Е.С.  
УрФУ*

В современном строительстве не все традиционные материалы и технологии обеспечивают долговечность конструкций, эксплуатирующихся в современной среде, отличающейся большой агрессивностью. В связи с этим возникает проблема разработки новых и совершенствования существующих материалов и технологий с учетом современных требований и новых задач, стоящих перед строительной отраслью. Один из таких перспективных материалов – серобетон.

Главным отличием технологии производства серобетонных смесей является её приготовление при температуре 140±5 °С. Тепловлажностная обработка (ТВО) цементных бетонов производится при 90 °С. Как видно, температуры для обоих видов бетона различны. По этой причине цементно-серный мелкозерни-

стый бетон нуждается в подборе нестандартных режимов тепловой обработки. В данной работе рассматривается комбинация термической и ТВО для определения оптимального режима тепловой обработки цементно-серного мелкозернистого бетона со шламом.

В работе использовали: портландцемент ЦЕМ I 32,5Н; техническую серу, песок природный и шлам водоподготовки МУП «Водоканал» г. Екатеринбурга, из которых формовали экспериментальный состав, подобранный на основе результатов предыдущих исследований, В/Ц составляло 0,6.

Для работы были выбраны режимы ТВО, показанные на рис. 1. Изотермический прогрев продолжался 60, 90 или 120 минут. После проведения ТВО все образцы подвергались дополнительному прогреву в печи для плавления серы.

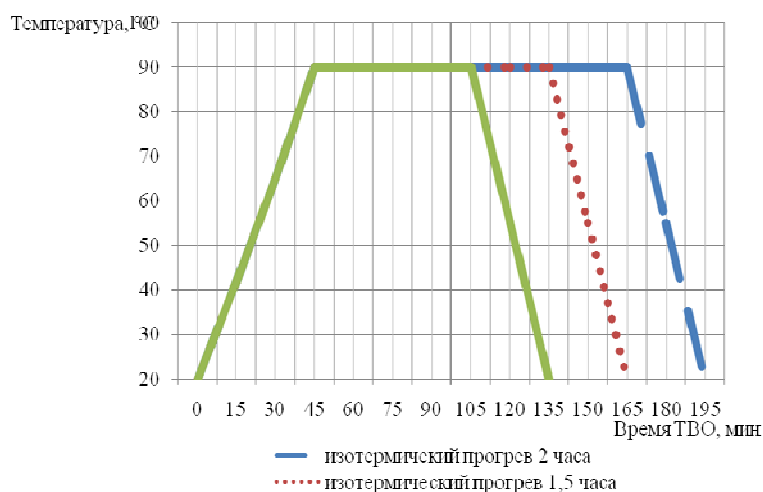


Рис. 1. График ТВО

На первом этапе работы определяли прочность бетона в зависимости от времени изотермического прогрева с последующим прогревом при 120 °С в течение 20, 25, 30, 35 и 40 минут (рис. 2-3) По результатам испытаний видно, что оптимальная продолжительность изотермического прогрева при ТВО – 2 часа.

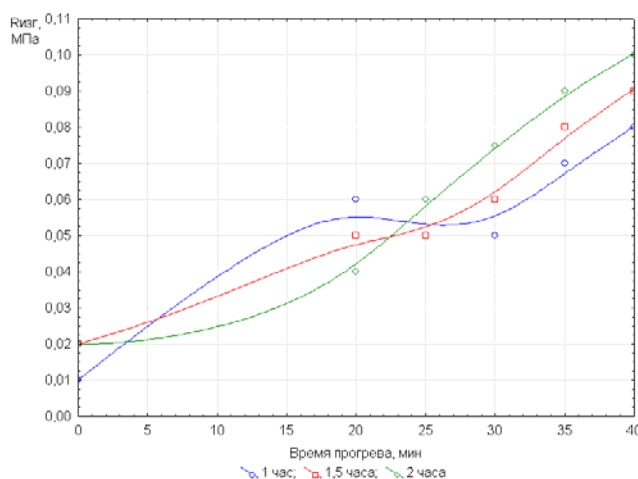


Рис. 2. Прочность на изгиб бетона в зависимости от продолжительности ТВО и времени прогрева при 120 °С

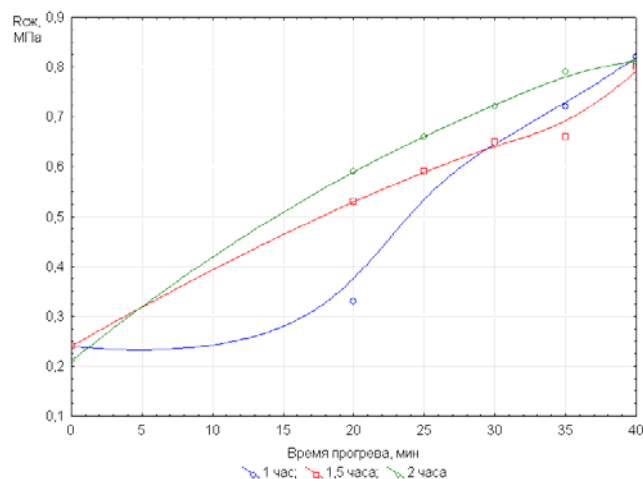


Рис. 3. Прочность на сжатие бетона в зависимости от продолжительности ТВО и времени прогрева при 120 °С

В результате для дальнейшего эксперимента было выбрано общее время ТВО – 195 минут. Очевидно, при более продолжительном изотермическом прогреве наиболее полностью проходят все процессы твердения ПЦ минералов и образуется прочный кристаллический каркас цементного камня.

Затем подбирали оптимальную температуру и время последующего прогрева (рис. 4-5).

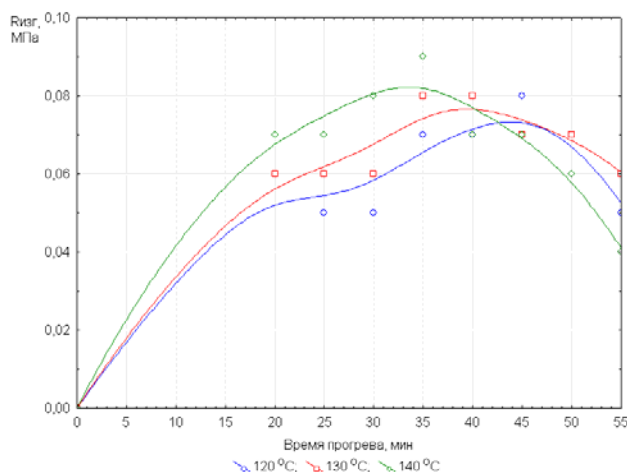


Рис. 4. Зависимость прочности на изгиб бетона от температуры и времени прогрева

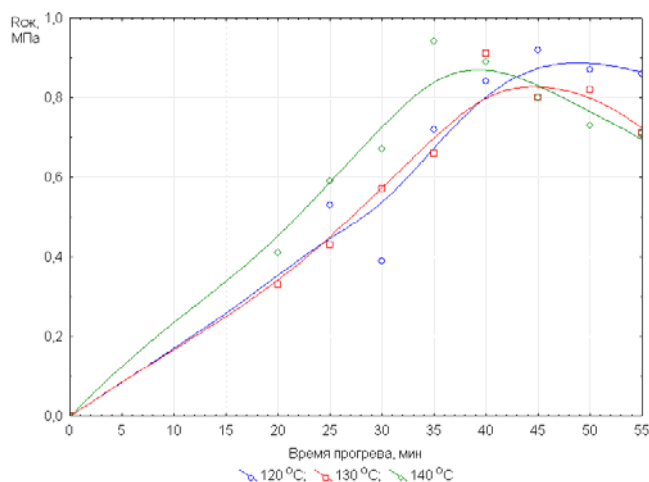


Рис. 5. Зависимость прочности на сжатие бетона от температуры и времени прогрева

Как видно по графикам при повышении температуры прочность возрастает быстрее. Для каждой температуры есть точка, после которой прочность начинает снижаться, возможно, в связи с излишним разжижением серы и её частичным испарением из образцов. Видно, что наибольшей прочностью обладают образцы, прогретые при 140 °С в течение 35 минут.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Время изотермического прогрева при ТВО – 2 часа при 85+5 °С, при подъёме температуры в течение 45 минут и охлаждении в течение 30 минут. Последующая за ТВО термическая обработка позволяет получить максимальные прочностные значения при температуре 140 °С и её продолжительности 35 минут. Установлено, что оптимальным сроком для обоих видов обработок являются одни сутки.

Таким образом, был подобран оптимальный режим обработки цементно-серного бетона, при производстве которого возможна экономия вяжущего вещества до 10 % по массе.

## СПЕКАЕМОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ СОСТАВА «ПЕРИКЛАЗ-ХРОМИТ»

Титов С.А., Ярушина Т.В., Земляной К.Г.  
УрФУ

Периклазохромитовые огнеупоры изготавливаются из предварительно термообработанного (спеченного либо плавленого) магнезита и природных либо синтетических компонентов, образующих при термообработке шпинелиды в периклазовой матрице. В периклазохромитовых – более 55 % MgO и более 8 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Природа компонентов-добавок в сочетании с технологическими приемами производства предопределяет состав и свойства магнезиальных шпинели-

лидов и огнеупоров, содержащих их как в качестве самостоятельной фазы, так и твердого раствора в периклазе.

К огнеупорам, предназначенным для футеровки тепловых агрегатов, предъявляются повышенные требования, а именно: термостойкость, высокая устойчивость к химическому и эрозионному воздействию расплавленных металла, шлака и углеродсодержащих газов.

Целью данной работы было исследование спекаемости композиций состава «периклаз-хромит», а также свойств хромовых руд различных марок в сочетании с периклазовыми порошками разных сортов.

В качестве исходных материалов использовали: периклазовый клинкер марки КПМ-94 фр. 0,063 мм; спеченный периклазовый порошок фр. 0,063 мм; периклазовый клинкер Nedmag 99 фр. 0,063 мм; хромовую руду марки CM AFS 45-55 фр. 0,063 мм (ЮАР); турецкую хромовую руду фр. 0,063 мм; алапаевскую хромовую руду 0,063 мм.

В ходе работы были выполнены три серии опытов. В каждой серии периклазовый порошок заданной марки смешивали с тремя хромовыми рудами поочередно, с соотношением компонентов в процентах: 0:100; 25:75; 50:50; 75:25; 100:0. Всего было изготовлено 33 смеси на связке из дистиллированной воды. Исследуемые образцы были сформованы в виде таблеток диаметром 40 мм и высотой 20 мм, с последующим обжигом в туннельной печи при 1620 °С. После обжига была определена открытая пористость, кажущаяся плотность, а также были рассчитаны изменения линейных размеров испытываемых образцов.

Исследованиями установлено, что спекаемость хромомагнетитовых масс, особенно из плотной разности низкосортной хромитовой руды, значительно улучшается при повышении температуры обжига с 1500 до 1620 °С. Согласно коэффициентам уплотнения и упрочнения, пористость образцов снижается от 1,2 до 26 раз, а предел прочности при сжатии увеличивается от 8 до 56 раз. Сырой тонкомолотый магнезит, с одной стороны, способствует рекристаллизации периклаза, при которой предел прочности при сжатии достигает 1290 кгс/см<sup>2</sup>, с другой, повышает пористость, по-видимому, за счет ускорения реакции хромшпинелида с активной окисью магния. На процесс спекания может оказать влияние диссоциация магнезита в первый период обжига изделий, вызывающая разрыхление их структуры.

На основании проведенного опыта можно сказать, что наилучшие результаты показали образцы из смеси спеченного периклаза и турецкой хромруды в соотношении 25 к 75 % соответственно, которые имеют среднюю кажущуюся плотность (3,62 г/см<sup>3</sup>) и минимальную открытую пористость (7,6 %), что значительно превышает показатели остальных составов, со сравнительно невысокой усадкой по объему, около 7 %.

Необходимо отметить, что с повышением содержания периклаза в массе уменьшается относительное количество как оксидов железа, так и силикатов; поэтому периклазохромитовые изделия более качественные и более износостойчивые, чем хромопериклазовые.

При обжиге в периклазохромитовых огнеупорах образуется сравнительно немного жидкой фазы – от 5 до 10 % – значительно меньше, чем в динасе или

шамоте. Поэтому для спекания решающее значение имеют твердофазные диффузионные процессы, для которых повышение температуры более эффективно, чем увеличение продолжительности обжига.

Таким образом, данные исследования могут послужить основой для выбора состава необходимого огнеупора и использования руды более низкого качества (турецкой), там, где это необходимо, т.к. показатели, полученные в ходе исследований, дают полную картину спекаемости хромовой руды и периклаза, а также показывают, что качество изделий из низкосортной руды соответствует необходимым требованиям, что в свою очередь позволит снизить материальные затраты и сэкономить природные ресурсы.

### КЕРАМИКА СО СТРУКТУРОЙ МАЙЕНИТА – МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ГАЗООБРАЗНОГО ГЕЛИЯ

<sup>1,2</sup> Толкачева А.С., <sup>2</sup>Шкерин С.Н., <sup>3</sup>Калинина Е.Г., Филатов И.Е.  
<sup>1</sup>УрФУ, <sup>2</sup>Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН  
<sup>3</sup>Институт электрофизики УрО РАН, mail-content@mail.ru

По производству гелия Россия занимает третье место в мире. В России газообразный гелий получают из природного и нефтяного газов. С места добычи природного газа сырье транспортируется по трубопроводам до завода, перерабатывающего природную сырьевую газовую смесь. До завода удастся транспортировать таким образом 0,1 % изначально добытого объема гелия. Существует необходимость в новой технологии переработки добываемого сырья, менее затратной, компактной и эффективной. Ключевой частью этой технологии может служить молекулярный фильтр на основе керамики из майенита – высокоэффективный по величине сепарации и натекания гелия. Основные сырьевые компоненты для производства керамики из майенита:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ . Они обладают низкой стоимостью и широкой доступностью. Таким образом, с помощью предлагаемого нововведения можно значительно сократить расходы энергии на добычу гелия, а также повысить чистоту получаемого продукта и экологичность производства.

Майенит – алюминат кальция  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ , обладающий уникальной структурой. Кристаллическая решетка майенита кубическая, пространственная группа I-43d. Каркас кристаллической решетки составлен из полых сферических элементов (рис. 1). В пространстве эти структурные элементы образуют узкие

сквозные каналы, через которые могут отфильтровываться молекулы газа малых размеров.

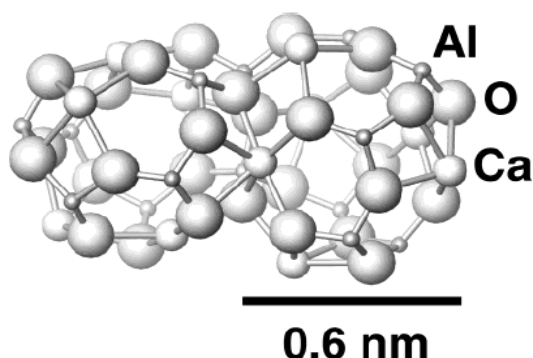


Рис. 1. Фрагмент структуры майенита [1]

Майенит получали методом самораспространяющегося синтеза, методика подробно описана ранее [2]. Технология получения плотной ке-

рамики отработана, описана в патенте [3]. Беспористая керамика из майенита обладает селективностью только по гелию. Ее проницаемость для гелия равна  $(16,5...17,0) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/(\text{с} \cdot \text{атм})$ . Полученные данные (рис. 2) составили основу патента [4].

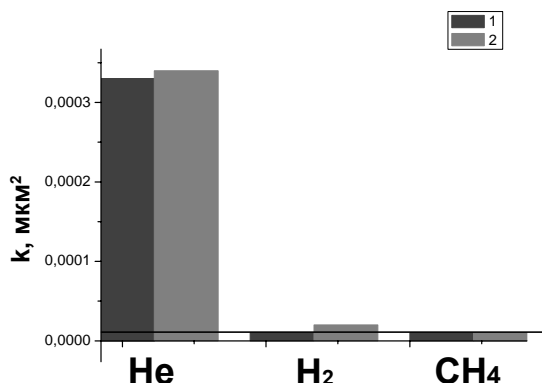


Рис. 2. Селективность майенита для испытываемых газов  
(горизонтальной чертой отмечен собственный уровень натекания системы)

#### Библиографический список

1. S. Yang, J. N. Kondo, K. Hayashi, et all // Chem. Mater. 2004. V. 16. P. 104-110.
2. Толкачева А.С., Шкерин С.Н., Плаксин С.В., Вовкотруб Э.Г., Буланин К.М., Кочедыков В.А., Ординарцев Д.П., Гырдазова О.И., Молчанова Н.Г. Получение плотной керамики однофазного майенита ( $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{32}$ )O // Журнал прикладной химии. Т. 84. № 6. С. 881-886.
3. Шкерин С.Н., Толкачева А.С. Способ получения керамики со структурой майенита. Патент RU № 2459781. Оpubл. 27.08.2012 г. Бюл. № 24.
4. Шкерин С.Н., Толкачева А.С., Калинина Е.Г., Филатов И.Е., Сафронов А.П. Молекулярный фильтр для извлечения гелия из гелийсодержащих газовых смесей. Патент RU № 2492914. Оpubл. 20.09.2013 г. Бюл. № 3.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ МЕТОДОМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Трофимов А.А., Рудой В.М., Ярославцева О.В.  
УрФУ, a.b.darintseva@ustu.ru

Выбор коррозионно-устойчивого материала проводят на основании результатов длительных испытаний. Чтобы сократить время испытаний, используют ускоренные испытания. Обычно результаты ускоренных испытаний дают сравнительные данные по коррозионной стойкости нескольких металлов или сплавов. В этом случае большое значение приобретает идентичность условий предварительной подготовки образцов. При этом такая электрохимическая характеристика, как стационарный потенциал не может быть использована, поскольку материалы, имея различный состав, будут иметь разные бестоковые потенциалы. В качестве альтернативы этой характеристики можно использовать определенные свойства поверхности электрода. В частности, важно, чтобы на поверхности не было поверхностно-активных веществ, оксидных пленок, чтобы поверхности имели примерно одинаковый рельеф.

Задачей данной работы является измерение спектров импеданса образцов сталей с различной подготовкой поверхности.

Годограф экспериментального импеданса можно аппроксимировать частотной зависимостью импеданса подобранной эквивалентной схемой. Элементы этой схемы отражают свойства границы раздела фаз реального электрода и соответствуют определенным свойствам этой границы. При соответствии выбранной эквивалентной схемы реальному процессу (об этом судят по качеству аппроксимации) численные значения элементов можно связать с физико-химическими характеристиками электрода. В этом случае по параметрам эквивалентной схемы можно судить о воспроизводимости состояния поверхности электрода на момент начала испытаний.

Для проведения испытаний была использована ячейка, подключенная по трехэлектродной схеме к измерительной станции “Zahner IM 6”. Поверхность рабочего электрода представляла собой прямоугольный торец стального образца, залитого в эпоксидный компаунд. Вспомогательным электродом служила платиновая пластина. Электродом сравнения являлся насыщенный хлоридсеребряный электрод. Измерения проводили в растворе 0,75 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

На рис. 1а представлены экспериментальные годографы, полученные на образце после предварительной катодной поляризации (КП). Спектры сняты последовательно, примерно с 6-минутным интервалом. Импеданс изменяется во времени, что указывает на неустойчивое состояние поверхности электрода. На рис. 1б представлены данные после обработки поверхности этиловым спиртом (СП). В этом случае состояние поверхности практически не изменяется во времени. Кроме указанных вариантов испытана подготовка электродов с помощью катодно-анодной проработки (КАП), промывка электрода содовым раствором с последующей отмывкой водой (С). Все виды обработки, кроме промывки в спирте, дали неустойчивые и плохо воспроизводимые результаты.

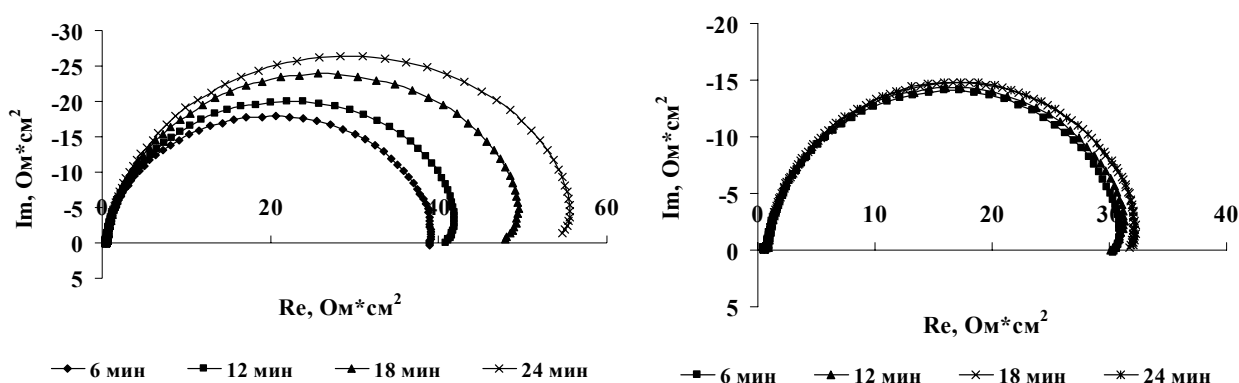


Рис. 1. Экспериментальные годографы импеданса на образце стали 18Х5МФБ за различные промежутки времени после погружения электрода в раствор:  
а) после катодной обработки; б) после промывки спиртом

В дальнейшем, для подбора эквивалентной схемы и расчета элементов использовались данные импедансных измерений электродов после промывки их этиловым спиртом. В эквивалентную схему (рис. 2) включены сопротивле-



ние раствора и параллельное звено с сопротивлением электродной реакции и элементом постоянной фазы, который соответствует емкости двойного слоя на шероховатой, фрактальной поверхности.

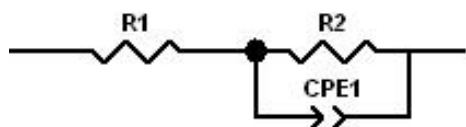


Рис. 2. Эквивалентная схема:  
R1 – сопротивление раствора, R2 - сопротивление реакции, CPE1 – элемент постоянной фазы

Как следует из результатов аппроксимации, приведенных на рис. 3, схема хорошо описывает поведение электрода в широкой области частот (1 Гц – 100 кГц).

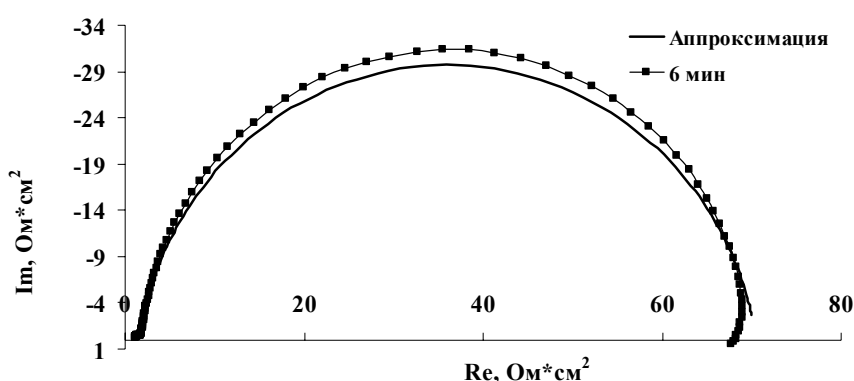


Рис. 3. Аппроксимация данных на основе эквивалентной схемы

Значения параметров схемы для разных образцов изменяются. Данные приведены в таблице.

По-видимому, идентичность подготовки различных электродов перед коррозионными испытаниями, будет заключаться в соответствии экспериментального годографа расчетному, выполненному по принятой эквивалентной схеме. Кроме того, должны оставаться постоянными значения элементов эквивалентной схемы в течение времени необходимого для выполнения эксперимента.

Параметры эквивалентной схемы для различных сталей и способов предварительной подготовки

| Сталь    | Способ обработки | R2, Ом·см <sup>2</sup> | $T \cdot 10^4$ , Ом <sup>-1</sup> ·см <sup>2</sup> ·с <sup>p</sup> | p    | Ср. кв. ошибка R2, Ом·см <sup>2</sup> |
|----------|------------------|------------------------|--|------|---------------------------------------|
| 18X5МФБ  | СП               | 45,2                   | 2,43   | 0,86 | 1,32                                  |
| 18X5МФБ  | С                | 53,1                   | 1,90   | 0,88 | 19,36                                 |
| 18X5МФБ  | КП               | 47,7                   | 0,37   | 0,93 | 8,29                                  |
| 18X5МФБ  | КАП              | 33,5                   | 3,45   | 0,89 | 0,37                                  |
| 18X3МФБ  | СП               | 31,5                   | 2,96   | 0,91 | 0,69                                  |
| 18ХМФБ   | СП               | 34,5                   | 2,65   | 0,92 | 1,47                                  |
| 18X5МФБЧ | СП               | 38,1                   | 2,89   | 0,88 | 3,19                                  |

Как следует из данных, приведенных в таблице, наиболее стабильно во времени ведут себя электроды после обработки спиртом (среднеквадратические отклонения сопротивления реакции минимальные). Относительная стабильность наблюдается при переходе к другим образцам стали, хотя параметры схемы изменяются.

Таким образом, полученные в работе результаты импедансных измерений позволяют использовать предложенный метод для оценки и унификации состояния поверхности образцов перед коррозионными испытаниями. Метод позволит повысить надежность выводов по результатам ускоренных коррозионных испытаний и рекомендовать наиболее коррозионностойкие конструкционные материалы, что увеличит долговечность оборудования.

Работа выполнена по плану работ госбюджетной темы Н 687 42Б 001 12.

## **НОВЫЙ МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ХРОМА ИЗ СТОКОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПОЛУЧЕНИЕМ ХРОМИСТОГО ГИДРОНИМЯРОЗИТА**

*Фазлутдинов К.К., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н.  
УРФУ, kfazl@yandex.ru*

Проблема хромосодержащих отходов сегодня актуальна и общеизвестна. Основной поставщик таких отходов в водные объекты – гальваническое производство. Стандартные методы утилизации хромовых сточных вод и отработанных электролитов не могут удовлетворить требованиям экологии и ресурсосбережения. Самый распространенный из них – реагентный метод. В рамках данного метода требуется перевести хром шестивалентный в более безопасную трехвалентную форму и осадить в виде гидроксида. Достижение ПДК по хрому в данном случае весьма затруднительно ввиду склонности трехвалентного хрома к комплексообразованию даже при локальной передозировке реагентов-осадителей.

Нами предложен инновационный метод утилизации хромосодержащих отходов совместно с отработанными стоками травления стали, заключающийся в одностадийном переводе железа и хрома в хромистый гидронимярозит – ценное металлургическое сырье. Фотография и микрофотография осадка приведены на рис. 1 и 2, рентгенограмма – на рис. 3.

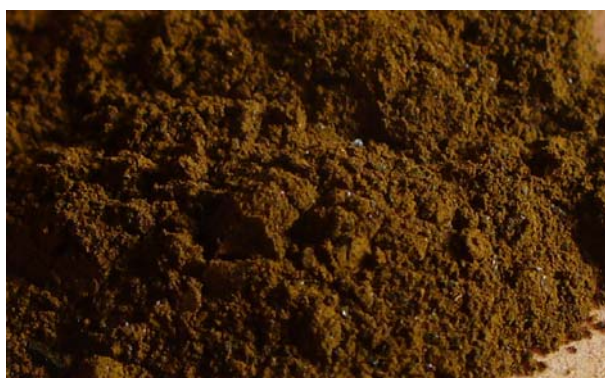


Рис. 1. Фотография измельченного осадка, полученного при осаждении из модельного раствора стандартного хромового электролита

Перевод осуществляется за счет реакции хромового отхода с железной стружкой в определенных условиях (площадь стружки, концентрация серной кислоты и т.д.). Метод не требует нагрева и перемешивания реакционной массы. В результате образуется жидкая часть, свободная от шестивалентного хрома, с концентрацией трехвалентного хрома до 2,2 мг/л. После отмычки стружки от гидронимярозита она может быть использована повторно.

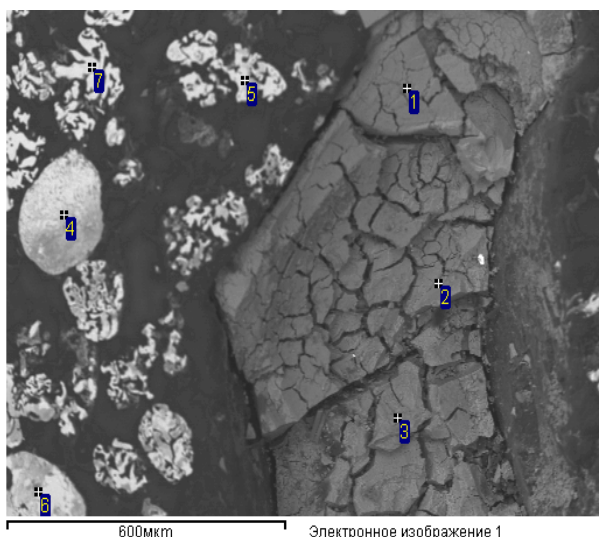


Рис. 2. Микрофотография шлифа порошка хромистого гидронимязрита при 100-м увеличении

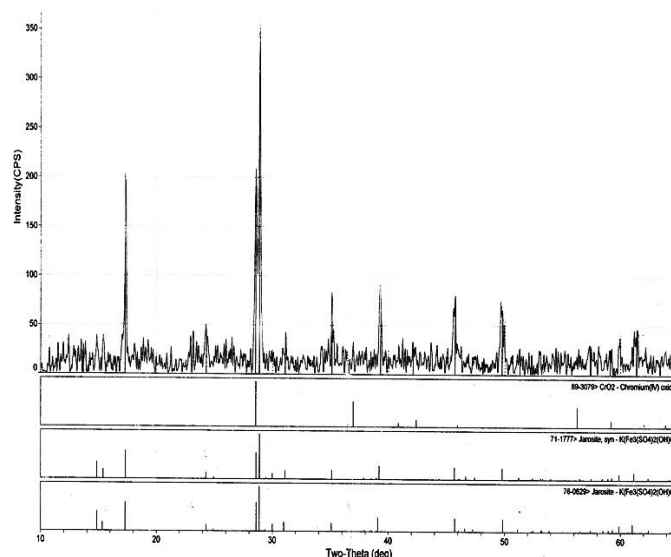


Рис. 3. Рентгенограмма осадка, полученного по реакции модельного хромового раствора со стальной стружкой

Ввиду использования в методе обезвреживания только отходов одного и того же производства (железная стружка и травильный раствор), данный метод видится нам одним из самых перспективных на сегодняшний день.

Метод был успешно внедрен на ЗАО “НПО ЛОГОТЕХ” и ООО “МАГИСТР”.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ $\text{Ca}_{12-x}\text{Fe}_x\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ В КАЧЕСТВЕ АНОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

<sup>1</sup>Федотова Е.А., <sup>1</sup>Яковлева Е.В., <sup>1</sup>Толкачева А.С., <sup>1</sup>Корякин К.Е., <sup>2</sup>Шкерин С.Н.  
<sup>1</sup>УрФУ, <sup>2</sup>Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН  
 shkerin@mail.ru

Электрохимический способ получения электрического тока с помощью твердооксидных топливных элементов характеризуется высокой эффективностью, экологически безопасен и экономичен. Такие устройства могут работать на широком спектре видов топлива и не требовательны к его чистоте. Основные элементы конструкции топливного элемента – электролит, анод и катод. В настоящее время в качестве твердого электролита применяется  $\text{ZrO}_2$  – наиболее изученный, химически устойчивый и тугоплавкий материал. Однако недостатком оксида циркония является высокая температура работы топливного элемента, а значит – низкий энергоресурс. Для увеличения срока службы электролита необходимо снижение его рабочей температуры. Эту задачу удастся решить с помощью современного электролита на основе галлата лантана. Для этого материала подобран состав катодного материала, но поиск подходящего по характеристикам анода – до сих пор остается актуальной задачей.

Серьезная проблема применяемых в настоящее время анодов – низкая устойчивость при циклировании температуры и окислительно-восстановительной атмосферы работы устройства. Существующие анодные материалы подвергаются сильной деградации из-за фазовых переходов и изменения линейных размеров вследствие химического расширения материала, так как в его состав входят элементы с переменной валентностью. Одним из возможных решений этой проблемы является применение анодных материалов с принципиально новым структурным типом. Предлагаемый нами материал – легированный катионами железа майенит  $\text{Ca}_{12-x}\text{Fe}_x\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ . Проводимость по анионам кислорода у нелегированного майенита невысока и составляет  $2 \cdot 10^{-2}$  См/см при 900 °С [1] в окислительной атмосфере. В восстановительных условиях величина электропроводности достигает  $1,6 \cdot 10^3$  См/см [2]. Введение добавки катиона переменной валентности создает смешанную проводимость, увеличивая общую проводимость. Особенность структуры майенита, составленного из полых сферических элементов, дает возможность избежать губительных для анода последствий химического расширения материала.

Составы  $\text{Ca}_{12-x}\text{Fe}_x\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ , где  $x$  изменялось в диапазоне от 0,1 до 5 мольных %, осуществляли методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с применением этиленгликоля в качестве топлива. Термообработку проводили на воздухе при температуре 1200 °С в течение 36-48 часов и в восстановительной атмосфере в потоке водорода при 1200 °С в течение 6 часов. Состав полученных образцов изучали рентгенофазовым анализом.

В результате обжига в окислительной атмосфере Fe (III) замещает катионы Al, и фаза распадается на майенит,  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  и браунмеллерит состава  $\text{Ca}_2\text{Al}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_5$ . После обжига в восстановительной атмосфере удалось получить образцы, содержащие майенит и металлическое железо, что позволяет реализовывать электропроводность даже при комнатной температуре.

Исследование поддержано Правительством Свердловской области и Российским фондом фундаментальных исследований. Грант № 13-08-96020.

#### *Библиографический список*

1. J.Janek, J.-K. Lee Defect chemistry of the mixed conducting cage compound  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$  // J. Korean Ceramic Society. 2010. V. 47 (2). P. 99.
2. Kim S.W., Matsuishi S., Nomura T., Kubota Y., Takata M., Hayashi K., Kamiya T., Hirano M., Hosono H. Metallic State in a Lime-Alumina Compound with Nanoporous Structure // Nano Lett. 2007. V. 7. № 5. P. 1138-1143.

## **ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ИЗВЕСТИ**

*Фетисова Е.Б., Фетисов Б.А, Уфимцев В.М.  
УрФУ, jennyf@el.ru, b.a.fetisov@ustu.ru, uvm38@mail.ru*

В технологии ячеистого бетона используется дисперсная известь, которая традиционно получается помолом строительной комовой извести.

Тонкодисперсная известь для получения ячеистого бетона по ГОСТ 9179-77 должна обладать следующими свойствами: иметь время гашения от 5 до 25 мин. (быстро- и среднегасящаяся) и содержать активные  $\text{CaO} + \text{MgO}$  не менее 70 %, «пережога» – не более 2 %.

Строительная комовая известь получается по существующей технологии обжигом известняка в шахтных или трубчатых вращающихся печах.

Достоинством шахтной печи является ее высокая тепловая экономичность, а недостатком – неравномерность обжига куска известняка по его толщине и по сечению шахты (в шахтных печах выход годного продукта составляет, в лучшем случае, не более 85 %). При этом предъявляются жесткие требования к фракционному составу исходного сырья, его термической стойкости и механической прочности.

Достоинства вращающейся трубчатой печи: может использоваться для обжига сырья, непригодного для обжига в шахтных печах, улучшается по сравнению с шахтной печью равномерность обжига и, как правило, повышается активность извести благодаря перемешиванию технологического материала при вращении печи. Однако, вращающаяся печь имеет значительно более высокий, чем в шахтных печах удельный расход топлива, который достигает 200 и более кг у.т./т извести в пересчете на известь с активностью 85 %. Лучшие современные шахтные печи обеспечивают получение извести с активностью 85 % при удельном расходе топлива около 140 кг у.т./т извести.

Применительно к технологической извести, используемой в производстве автоклавного газобетона, комовая известь, как компонент газобетонной смеси, имеет следующие недостатки:

- необходимость в дополнительных энергозатратах на помол комовой извести, которые, по данным ООО «Теплит», достигают 20 кВт·ч/т извести;
- неравномерность химического и кристаллического состава;
- нестабильность технических свойств извести;
- низкая активность из-за большого количества недожога и пережога и, как следствие, повышенный удельный расход на кубический метр газобетона.

Оптимальным решением перечисленных выше проблем может явиться замена извести, полученной помолом комовой, на дисперсный аналог, получаемый непосредственным обжигом карбонатсодержащего сырья мелких фракций. Однако, в литературе отсутствуют данные о промышленном производстве продукции такого рода. С другой стороны, известно, что декарбонизация известняка в современных клинкерных печах сухого способа осуществляется именно в дисперсном состоянии. Другим примером удачного применения «кальцинации» в тонкодисперсном состоянии является разработка устройства для прокалики гидрата глинозема на УАЗ (Уральском алюминиевом заводе), внедрение которого существенно улучшило технико-экономические показатели продукции.

Можно ожидать, что обжиг карбонатсодержащего сырья в дисперсном потоке с использованием циклонов для нагрева и регенерации тепла применительно к ООО «Теплит» будет столь же эффективным как на УАЗе, поскольку

циклонная печь, в сравнении с шахтными и вращающимися печами, позволяет максимально тонко регулировать тепловой режим обжига.

Так как необходимая температура обжига сырьевого материала в циклонной печи составляет около 900 °С, опасность получения пережженного продукта практически отсутствует, в то время как в шахтной печи температура в зоне обжига достигает 1000-1300 °С, а во вращающейся печи – 1100-1250 °С.

Обжиг материала мелких фракций в дисперсном потоке обеспечивает высокую однородность технических свойств получаемого технологического продукта, недостижимую при использовании вращающихся, а тем более шахтных печей. Сочетание малых размеров частиц известняка и кратковременности нахождения их в зоне обжига исключает как недожог, так и пережог продукции.

Предварительные расчеты, выполненные на математической модели тепловой работы циклонной печи, установили, что ожидаемые удельные теплозатраты на обжиг в ней будут близки показателям шахтных печей при более высоком качестве получаемой продукции.

В циклонных печах при влажности исходного сырья около 7 % расчетная величина удельного расхода топлива составила 162,8 кг к.т./т извести с активностью, близкой к 100 %. В пересчете на известь с активностью 85 %, характерной для шахтных печей, удельный расход топлива составляет 138,4 кг у.т./т извести, т.е. ниже, чем в шахтной печи, при этом выход годной продукции приближается к 100 %.

Как следует из изложенного выше, для производства извести по предлагаемой технологии подходит дисперсное сырье, которое в принципе не пригодно для обжига в шахтных и вращающихся печах. Известно, что значительная часть сырья для кускового обжига извести сбрасывается в отвалы в виде так называемых отсевов. Поэтому технология циклонного обжига извести является безотходной и может рекомендоваться в дополнение к шахтным и вращающимся известковым печам, в том числе, и с целью утилизации отсевов.

## **УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Холзаков Д.А., Иконников И.С., Тупоногов В.Г.  
УрФУ*

На предприятии по производству минеральной ваты, расположенном в Свердловской области, были проведены ряд измерений, связанных с составом, температурой и расходом уходящих газов. По результатам измерений были сделаны выводы об источниках основных выбросов, это оказались вагранка, предназначенная для плавления сырья, и камера полимеризации, предназначенная для тепловой обработки ковра горячим потоком воздуха с последующим затвердеванием связующего вещества.

Экологические характеристики производства оцениваются в сравнении с показателями, которые приведены в технических характеристиках на установку, поставляемую изготовителем.

Анализ работы вагранки показал, что она, как технологический агрегат, отвечает требованиям производства, достаточно экономична и соответствует современным экологическим требованиям.

Исследования работы устройств обезвреживания образующихся загрязнений и улавливания примесей показали, что устройство дожигания газов камеры полимеризации не обеспечивают требуемых экологических характеристик, так, например, выбросы оксидов азота  $\text{NO}_x$  превышают предельно допустимые выбросы в несколько десятков раз, а выбросы  $\text{CO}$  превышают предельно допустимые выбросы в 10 раз.

В печи полимеризации минераловатных изделий существует несколько источников образования оксидов азота. Сюда следует отнести топочное пространство формирования потока теплоносителя для тепловых камер, процессы поликонденсации органического связующего, топочное пространство дожигателя фенольных соединений газа – рециркулянта.

Для оценки значимости этих источников были выполнены замеры состава газов с использованием автоматического газоанализатора согласно схеме (рисунок). Результаты измерений представлены в таблице.

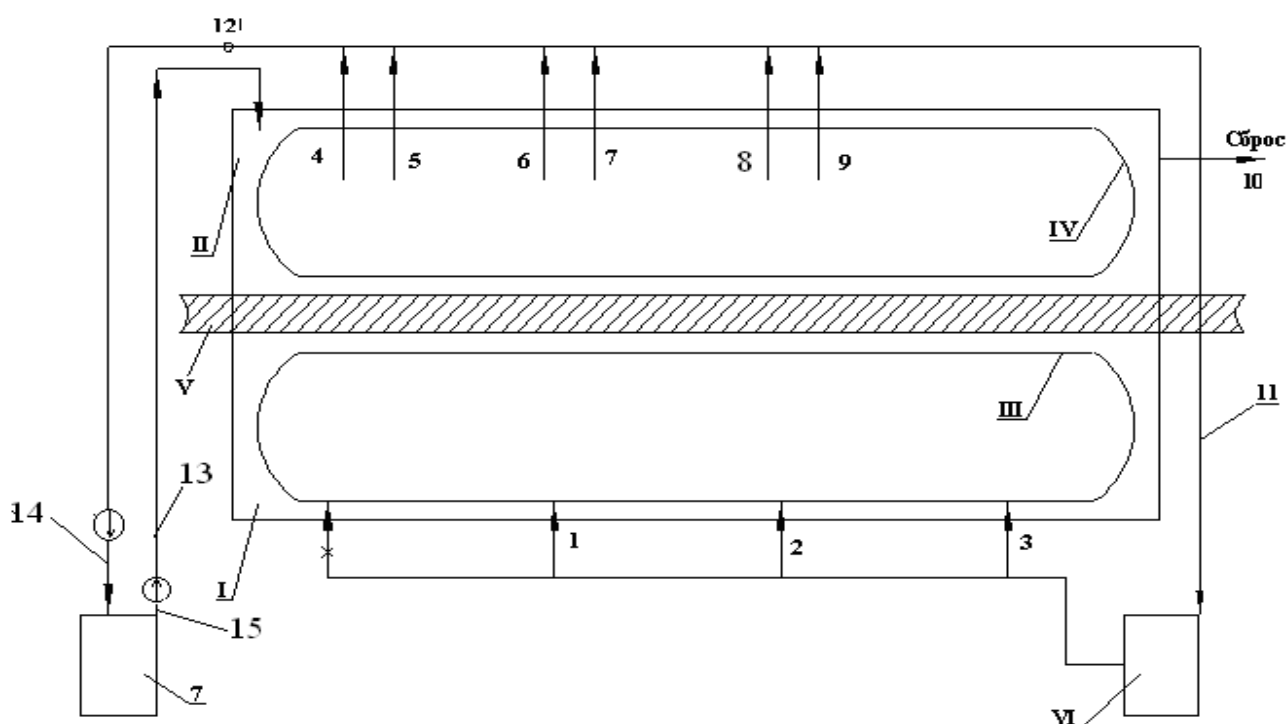


Схема материальных потоков на печи полимеризации и точек замеров:

I – нижняя; II – верхняя часть тепловой камеры; III – IV – конвейер;

V – минераловатный ковер; VI – топка; VII – дожигатель;

1-12 – точки замеров температуры, скорости, концентрации

Результаты измерений состава газов и температуры по точкам

| Номер точки измерения | Температура, °С | Состав газов      |                    |         |                       | Коэффициент расхода воздуха |
|-----------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------|-----------------------|-----------------------------|
|                       |                 | CO, ППМ (0,0001%) | O <sub>2</sub> , % | NO, ППМ | SO <sub>2</sub> , ППМ |                             |
| 1                     | 234             | 137               | 18,7               | 23      | 2                     | 9,13                        |
| 2                     | 240             | 147               | 18                 | 24      | 7                     | 7,00                        |
| 3                     | 239             | 147               | 18                 | 25      | 2                     | 7,00                        |
| 4                     | 138             | 78                | 19,2               | 12      | 0                     | 11,67                       |
| 5                     | 167             | 83                | 18,9               | 18      | 0                     | 10,00                       |
| 6                     | 187             | 93                | 18,4               | 11      | 0                     | 8,08                        |
| 7                     | 193             | 118               | 18,3               | 21      | 1                     | 7,78                        |
| 8                     | 184             | 98                | 18,5               | 12      | 0                     | 18,5                        |
| 9                     | 182             | 81                | 18,8               | 15      | 0                     | 9,55                        |
| 10                    | 201             | 100               | 18,8               | 42      | 0                     | 9,55                        |
| 11                    | 178             | 100               | 18,7               | 22      | 1                     | 9,13                        |
| 12                    | 161             | 59                | 19                 | 8       | 0                     | 10,50                       |
| 13                    | 333             | 144               | 18,1               | 66      | 1                     | 7,24                        |
| 14                    | 130             | 91                | 19,2               | 14      | 2                     | 11,67                       |
| 15                    | 333             | 134               | 17,8               | 68      | 0                     | 6,56                        |

Общий анализ полученных данных указывает в основном на окислительный характер газовой среды в рабочем пространстве печи полимеризации с высоким коэффициентом расхода воздуха. Практически полное отсутствие соединений серы свидетельствует об их незначительной концентрации в отходящих газах из рассматриваемого теплового агрегата.

Полученные данные показывают, что основным сосредоточенным источником оксидов азота в печи полимеризации является система дожигания фенольных соединений в газах, которая поставляет около 40 % от их общего количества.

Для уменьшения концентрации оксидов азота в уходящих газах существует ряд технологий, основными являются технологии подавления, основанные на: сжигании газов в объеме рабочего пространства за счет применения систем двухступенчатого сжигания, введения пара в факел горелки, объемное сжигание и др. Применение технологий очистки отходящих газов от оксидов азота (каталитическая, аммиачная технологии и др.) в настоящее время экономически не оправданы для данного предприятия. На перспективу можно предложить более совершенные горелочные системы, снижающие образование оксидов азота, как в топках, так и в камере полимеризации.

В данный момент на предприятии для подавления образования оксидов азота при сжигании природного газа используется введение в факел паров воды для снижения уровня температуры тепловой обработки газов. Для этого в зону высоких температур вводится небольшое количество паров воды (1-2 %) или тонкораспыленной водовоздушной эмульсии. Этот способ позволяет снижать количество оксидов азота в уходящих газах, но при этом выбросы все равно превышают предельно допустимые выбросы, установленные для данного предприятия, и снижают энергетическую эффективность производства.



Из-за недостаточно хорошего перемешивания в тепловом агрегате воздуха и газа-рециркулянта, создаются условия для химического недожога, вследствие чего в продуктах сгорания содержится монооксид углерода (СО).

Анализ усредненных данных показал, что основным источником образования монооксида углерода являются процессы формирования основного потока теплоносителя (81,37 %). При этом газы из системы дожигания приносят только 18,63 % СО.

Наличие дополнительного источника образования СО в топке требует улучшения условий образования потока теплоносителя. Это может быть достигнуто в основном за счет использования рециркуляционной схемы движения газов и оптимизации ее параметров.

Решение задач повышения экономических и экологических показателей комплекса по производству минераловатных изделий связано как с оптимизацией газодинамического режима работы печи полимеризации, так и с обеспечением высокого качества обезвреживания и улавливания образующихся загрязнений.

## **ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИЙ**

*Чернышев А.А, Новиков А.Е.  
УрФУ, aac-vp@yandex.ru*

Основным критерием ресурсо- и энергосбережения является создание технологий формирования новых изделий с комплексом специфических свойств. Методы непосредственного никелирования алюминия позволяют сократить количество технологических операций, что должно привести к снижению затрат материалов на приготовление электролитов и уменьшению расхода промывной воды.

Алюминий и его сплавы отличаются от стальных высокой тепло- и электропроводностью, малой плотностью и широко используются в промышленности. Электролитические покрытия никеля на алюминии придают повышенную твердость и увеличивают коррозионную стойкость. Основной проблемой при нанесении электролитических осадков на алюминий является низкая адгезия покрытий к основе из-за образования на воздухе тонкой оксидной пленки. При эксплуатации деталей в условиях повышенных температур покрытие может растрескиваться и отслаиваться [1].

Никелевое покрытие на алюминии может быть использовано в качестве самостоятельного покрытия и, как подслой, при нанесении многослойных покрытий, например, никель-олово. Широко распространены две технологии получения никелевого покрытия на алюминии:

- технология получения никелевого покрытия через нанесение промежуточного слоя и затем осаждение никеля (в качестве промежуточного слоя наносят Zn, Cu, Fe, Mn, Sn и др.) включает в себя восемь технологических операций,

таких как обезжиривание, травление, осветление, контактное нанесение промежуточного слоя, электролитическое никелирование и др.;

- технология непосредственного осаждения никеля на алюминий, позволяет исключить операцию контактного нанесения промежуточного слоя и следующую за ней каскадную промывку.

В лабораторных условиях при плотности тока  $1 \text{ А/м}^2$  и температуре  $45^\circ\text{С}$  получено покрытие из электролита непосредственного никелирования следующего состава, г/л:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 200;  $\text{NaCl}$  – 2,5;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 25;  $\text{KF}$  – 2,5;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 50;  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  – 3. В качестве активатора в электролите выступает фторид калия, кроме того электролит содержит окислитель  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , который является ингибитором образования водородных вздутий и снижает скорость контактного обмена. Это вещество положительно влияет на адгезию покрытий с подложкой при повышенных плотностях тока и способствует снижению пористости осадков [2].

Другая технология получения никелевого покрытия включает нанесение промежуточного слоя контактно выделившегося цинка. Было исследовано влияние состава раствора цинкатной обработки на качество никелевого покрытия и склонность его адгезии к металлу-основе (алюминию). Для исследования влияния состава раствора цинкатной обработки были использованы два раствора, содержащие в г/л: 1)  $\text{ZnO}$  – 80;  $\text{NaOH}$  – 400; 2)  $\text{ZnO}$  – 100,  $\text{NaOH}$  – 550,  $\text{FeCl}_3$  – 3,  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  – 10,  $\text{NaNO}_3$  – 2. Последующее никелирование проводили из сульфатного электролита никелирования следующего состава, г/л:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 300,  $\text{NaCl}$  – 15,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 25 при комнатной температуре и плотности тока  $1 \text{ А/дм}^2$  с никелевыми анодами марки Н1.

Все образцы, полученные по двум технологиям, подвергали испытаниям на прочность сцепления покрытия к основе путем нанесения сетки царапин резцом из высокоуглеродистой стали, закрепленным под углом в  $30^\circ$  относительно образца.

Выявлено, что в результате предварительного цинкатного травления в растворе 2 и последующего никелирования дает покрытия, обладающие плохой адгезией к металлу-основе, в то время как травление в растворе 1 дает покрытия, обладающие лучшей адгезией. Никелевое покрытие, получаемое без предварительной цинкатной обработки, при непосредственном никелировании из сульфатного электролита дает качественные покрытия, обладающие также хорошей адгезией к основе.

Покрытия, полученные с предварительной цинкатной обработкой из раствора 1, и покрытия, нанесенные непосредственно на алюминиевые образцы, имеют близкие показатели по прочности сцепления. Предложено отказаться от технологии никелирования алюминия через цинковый подслоя, как более ресурсозатратной, поскольку адгезия никелевых покрытий одинакова.

#### *Библиографический список*

1. Справочное руководство по гальванотехнике. Пер. с нем. / Под ред. В. И. Лайнера. М.: Металлургия, 1969. Т. 1. 418 с.
2. Лукомский Ю.Я. Теоретические аспекты и технология непосредственного нанесения гальванических покрытий на алюминий и его сплавы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1991. 27 с.

## ВОЗМОЖНОСТИ ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РФ

*Аликина К. Н., Пахалуев В. М.  
УрФУ*

Мировая энергетика в настоящее время взяла курс на переход к рациональному сочетанию традиционных и новых источников энергии. Характерной тенденцией развития мировой экономики в этот период будет систематическое снижение доли органического топлива и компенсирующий рост доли возобновляемых энергетических ресурсов.

Неисчерпаемая тепловая энергия Земли – геотермальная энергия – занимает среди ВИЭ одно из лидирующих мест. Главным достоинством является её практическая неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года.

В отличие от гидротермальной геоэнергетики, использующей в качестве теплоносителя горячие подземные воды и пар, в петротермальной геоэнергетике источником энергии являются нагретые до 150-300 °С породы кристаллического фундамента.

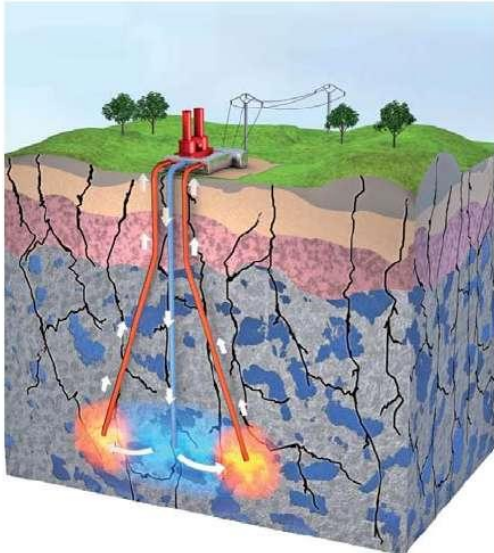
Геотермические градиенты, характеризующие повышение температур за счет горячих недр Земли, в среднем близки к 3 °С на 100 м. При этом на стабильных в тектоническом отношении зонах (на платформах) нагретые до 100-180 °С породы будут наблюдаться на глубинах 4-6 км. Этих температур достаточно для отопления и горячего водоснабжения различных категорий потребителей.

Производство электроэнергии на базе глубинного тепла Земли возможно при температуре массивов не менее 250 °С. Такая температура достижима на глубине около 10 км. В тектонически активных и вулканических областях эти глубины могут составлять сотни метров, но практически во всех подобных зонах давно развивается гидротермальная энергетика.

По результатам геолого-физических исследований в тектонически стабильных зонах можно выявить так называемые «тепловые котлы» или «тепловые купола», где нагретые до необходимых температур породы залегают на относительно небольших глубинах. Если глубина их залегания близка к 5 км, то использование петротермальных систем тепло- и электроснабжения в подобных местах может стать рентабельней традиционной углеводородной энергетики.

В настоящее время активно ведутся разработки технологии извлечения тепла из горячих сухих подземных коллекторов, получившие название HDR (Hot Dry Rock – горячая сухая порода) в 65 странах мира, а в некоторых уже успешно используются для отопления и кондиционирования воздуха (Франция, США, Япония, Германия и др.). Для производства электроэнергии планируется использование аномально горячих сухих пород («тепловых котлов»), залегающих на относительно небольшой глубине, как, например, в бассейне Купер (Южная Австралия), где на глубине 3,5-4,5 км обнаружены сухие породы с температурой 240-300 °С. В этом месте намечается строительство электростанции мощностью более 1 ГВт. Для сравнения это средняя мощность одного современного блока АЭС.

Сущность HDR-технологии заключается в следующем. Пробурируется две-три скважины до глубин с температурами, отвечающими требованиям теплоснабжения или производства электроэнергии. Одна из скважин является нагнетательной, подающей под давлением воду в зону нагрева, а другие – эксплуатационными, по которым образующийся пар с необходимой температурой поступает на поверхность (рисунок). Если естественная



проницаемость раскаленного массива пород недостаточна, то осуществляется его гидроразрыв для образования подземного «котла». Методы гидроразрыва пластов и наклонного бурения скважин хорошо освоены нефтегазовой промышленностью и успешно применены для создания петротермальных циркуляционных систем (ПЦС). Трещины, образовавшиеся в породах в результате гидроразрыва, поддерживаются в раскрытом состоянии гидростатическим давлением жидкости. При этом потери теплоносителя в окружающий массив на практике составляли около 1 % его общего расхода.

Для эффективной работы циркуляционных систем необходимо иметь или создать в зоне отбора тепла достаточно развитую теплообменную поверхность. Такой поверхностью обладают или встречающиеся на различных глубинах пористые пласты и зоны естественной трещиноватости, проницаемость которых позволяет организовать принудительную фильтрацию теплоносителя с эффективным теплообменом и извлечением тепловой энергии горных пород, или искусственного создания методом гидравлического разрыва (гидроразрыва) теплообменные поверхности в слабопроницаемых массивах. Известны примеры гидроразрыва с трещинами протяженностью до 2–3 км.

Механизм гидроразрыва представляет собой хрупкое разрушение пород с расширением природных трещины и с образованием новых трещин в результате растягивающих или сдвигающих деформаций массива под влиянием давления рабочей жидкости (воды), приложенного к стенке скважины, а далее к борту растущей трещины, причем избыточный объем жидкости служит гидравлическим клином.

Для обеспечения модернизации экономики и дальнейшего социально-экономического развития регионов Российской Федерации группой российских ученых и специалистов разработан инновационный проект «Развитие петротермальной энергетики России». Проект основан на извлечении и использовании теплоты, аккумулированной в «сухих» горячих горных породах земной коры с целью выработки на ее основе постоянных, экономически доступных электроэнергии и тепла для стабильного обеспечения отдаленных, малоосвоенных и энергодефицитных районов России. Он полностью базируется на отечественной технике.

Отличие отечественной разработки от зарубежных аналогов состоит в том, что решена проблема высокой стоимости сверхглубокого бурения скважин. Группа российских ученых и специалистов разработала несколько вариантов буровых снарядов (БС), являющихся отечественным «ноу-хау». Аналогов данному изобретению в мировой практике нет. Скорость бурения твердых пород (средняя плотность – 2500-3300 кг/м<sup>3</sup>) одного из первых вариантов буровых снарядов (БС-01) составляет до 30 м/ч, что на порядок выше, чем при традиционном механическом бурении. В результате резко сокращается время бурения и существенно уменьшается стоимость создания ПЦС. Другой вариант разрабатываемого бурового снаряда характеризуется еще более высокими значениями эксплуатационных показателей.

Среди относительных преимуществ эксплуатации геотермальных источников перед другими видами энергетических ресурсов можно выделить: низкий риск возникновения экологически опасной ситуации, независимость эксплуатации от времени суток и погодных условий, наименьшие финансовые затраты на эксплуатацию электростанций. К недостаткам относят сложность осуществления надежной разведки и основную приуроченность к активным геодинамическим зонам планеты, обладающим сравнительно высоким тепловым потоком, большая стоимость и техническая сложность процесса бурения сверхглубоких скважин.

#### *Библиографический список*

1. Гнатусь Н.А. Тепловая энергия Земли – основа будущей теплоэнергетики // Новости теплоснабжения. 2006. № 12.
2. The European Hot Dry Rock Project at Soultz [Электронный ресурс]: URL: <http://www.soultz.net/version-en.htm>
3. Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л.: Недра, 1979. 191 с.
4. “Hot Dry Rock” company float to fund South Australian pilot plant [Электронный ресурс] URL: <http://www.aie.org.au/pubs/hotdry.htm>

## **О РОЛИ ОБЪЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕМОНТИРУЕМЫХ СИСТЕМ В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ И ДОЗОВЫХ ЗАТРАТ ПЕРСОНАЛА ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС**

*Батенков Д.И., Лукьяненко В.Ю., Таишыков О.Л.  
УрФУ, vera-lukyanenko@mail.ru*

Жизненный цикл блока АЭС, как и любого физического объекта, созданного человеком для обеспечения своей жизнедеятельности, включает в себя следующие этапы: сооружение, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию, вывод из эксплуатации.

Вывод из эксплуатации является завершающим этапом этого цикла. В соответствии с Общими положениями обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97) это процесс осуществления комплекса мероприятий после удаления ядерного топлива, исключающий использование блока в качестве ис-

точника энергии и обеспечивающий безопасность персонала и окружающей среды.

Выбор подходящего варианта вывода из эксплуатации (ВЭ) для конкретного блока АЭС осуществляется на основе многофакторного анализа, при котором необходимо рассмотреть ряд как общих для всех АЭС, так и конкретных факторов, присущих именно этому объекту. Эти факторы охватывают вопросы безопасности, охраны окружающей среды и здоровья населения, стоимости работ, социально-экономического воздействия на положение региона, наличия необходимых финансовых, технических, материальных и людских ресурсов и т. д.

С учетом длительности, сложности и потенциальной опасности процесса ВЭ для персонала, населения, окружающей среды, значительной стоимости практической реализации вывода, необходимо и возможно осуществлять предварительное моделирование процесса вывода (или его основных, наиболее сложных, технологических операций) на имитационных многомерных интерактивных моделях блока АЭС (ИМ ВЭ блока АЭС).

Основной целью создания и применения имитационной модели ВЭ блока АЭС является снижение издержек и повышение безопасности выбранного варианта вывода блока за счет системного управления требованиями к его проекту, многофакторного предварительного компьютерного имитационного моделирования и оптимизации всего процесса вывода в целом, так и его отдельных сложных технологических операций.

Задавая в ИМ ВЭ различные варианты конечных состояний, планов-графиков, осуществления работ с указанием конкретных применяемых технологий и технологических процессов, на «выходе» возможно будет получить временные и финансовые характеристики варианта осуществления работ, объема образующихся РАО, величины дозовых нагрузок на персонал, выполняющий работы.

В силу сложившейся в России ситуации основным вариантом вывода блоков АЭС выбран вариант ликвидации после длительного сохранения под наблюдением. Таким образом, длительность стадии ВЭ блока АЭС в РФ (50 лет и более) может превышать совокупную длительность сроков его проектирования, сооружения и эксплуатации.

В таких условиях сохранение и передача всей необходимой информации последующим поколениям специалистов, которые будут осуществлять работы по демонтажу реакторной установки и оборудования энергоблоков, становится важнейшей задачей, так как наличие достоверной информации напрямую влияет на безопасность и экономичность проведения работ по выводу из эксплуатации.

В настоящее время в стадии вывода из эксплуатации находятся энергоблоки № 1, 2 Белоярской (остановлены в 1983 и 1989 гг.) и Нововоронежской (остановлены в 1984 и 1990 гг.) АЭС. В недалеком будущем будут выводиться из эксплуатации энергоблоки АЭС, запущенные в эксплуатацию в 1970...80-е годы с учетом продления их проектного срока эксплуатации.

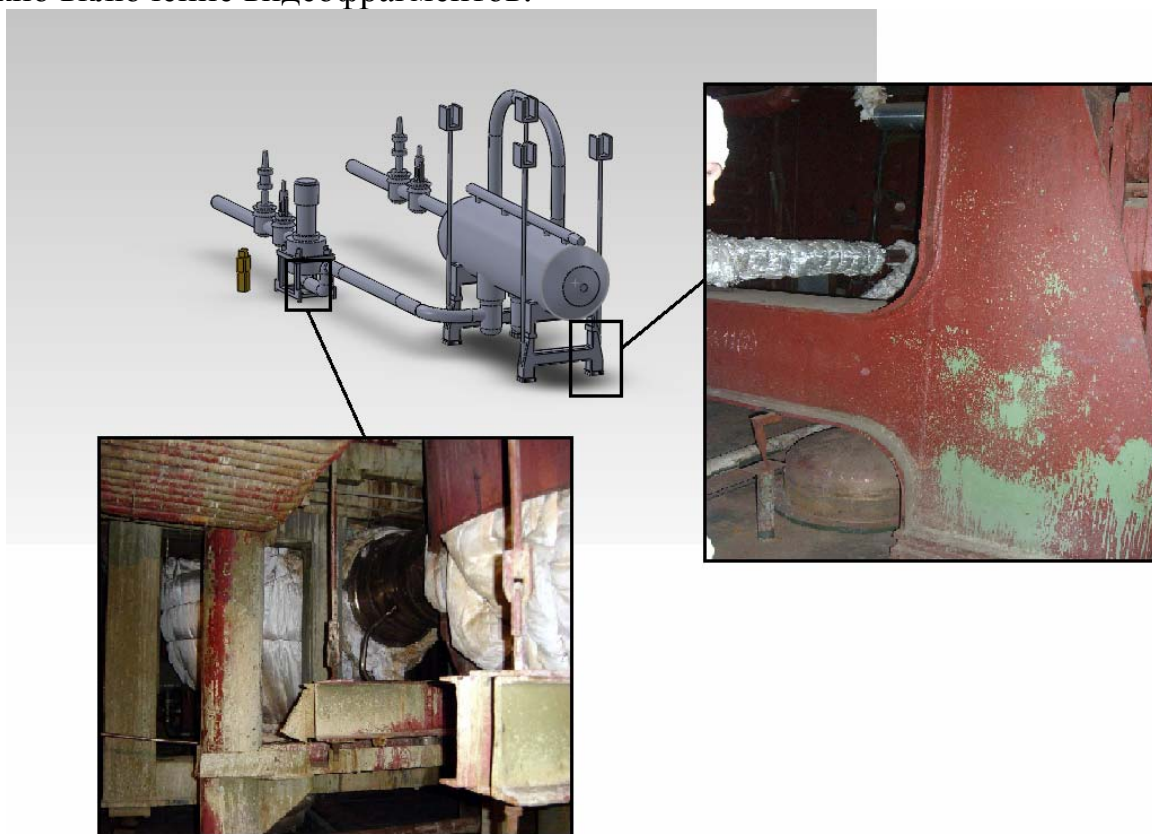


Уменьшение времени пребывания в радиационных полях является одним из способов снижения облучаемости персонала и может быть достигнуто тщательным планированием, эффективным управлением работами, тренировками по выполнению операций на макетах и компьютерных моделях оборудования в чистой зоне, а также применением высокопроизводительного оборудования.

Особое внимание при подготовке специалистов, особенно для атомной энергетики, где многие системы и оборудование недоступны для непосредственного изучения, обращается на визуализацию, как средство донесения и лучшего усвоения информации. В современной науке и технике визуализация – неотъемлемый элемент обработки сложной информации о пространственном строении объектов [1].

В настоящее время на кафедре «Атомные станции и ВИЭ» УрФУ ведутся работы по подготовке проектов производства работ по демонтажу оборудования выводимых из эксплуатации энергоблоков АЭС. При этом особое внимание уделяется подготовке персонала, в том числе построению 3D-моделей систем, подлежащих демонтажу [2]. Создаваемые 3D-модели позволяют изучать особенности компоновки оборудования в необходимых ракурсах, получать необходимую информацию по видам соединений и материалам, планировать последовательность демонтажа (отрезки) отдельных элементов трубопроводов и оборудования, возможность их перемещения по имеющимся проходам.

Дополнительной функцией создаваемых моделей является наличие встроенной фотобиблиотеки, позволяющей изучать отдельные элементы оборудования, окружающей обстановки и т.д. (рисунок) [3]. В перспективе возможно включение видеофрагментов.



Совмещение объемного моделирования с фотографиями отдельных узлов и элементов (изображение опоры насоса)

Все это позволяет работнику получить визуальное представление об устройстве и компоновке оборудования, что позволит сократить время выполнения работ в зоне действия ионизирующих излучений, а значит и сократить полученную дозу облучения.

#### *Библиографический список*

1. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Виртуальные технологии обучения в решении проблемы снижения облучаемости ремонтного персонала // Дистанционное и виртуальное обучение. 2010. № 8. С.48-57.
2. Батенков Д.И., Гушин П.С., Фиш Н.А., Федоров К.Ю., Ташлыков О.Л. Оптимизация демонтажа радиоактивного оборудования при выводе АЭС из эксплуатации // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых 18-21 декабря 2012 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 326-329
3. Ташлыков О.Л., Лукьяненко В.Ю. О роли виртуальных технологий в подготовке персонала для атомной энергетики // Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2013: VIII Международная научно-практическая конференция: сборник докладов. Прага: Publishing House “Education and Science”, 2013.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНЫХ ДОМОВ**

*Батраков А.В, Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет  
artem.batrakov1995@mail.ru ; al.rtisheva@mail.ru*

Особенностью солнечной энергии является возможность вырабатывать тепловую и электроэнергию в течение круглого года. Эксплуатационные расходы на солнечную энергетику для систем отопления являются низкими, по сравнению с сопоставимыми системами без использования солнечной энергии.

В последние годы популярность в последние годы приобретают солнечные коллекторы [1].

Существует 2 типа солнечных коллекторов: плоские и вакуумные.

В плоских коллекторах применяется тепловая изоляция корпуса, антиотражающее покрытие уплотненного стекла, прочная задняя стенка, что обеспечивает долгий срок эксплуатации. Они дешевле, чем трубчатые вакуумированные, просто и надежно монтируются на плоской и скатной крыше, встраиваются в кровлю и на фасады зданий, в произвольном месте. Элемент, поглощающий солнечную радиацию, называют абсорбер. Он непосредственно связан с теплопроводящей системой. Трубки, по которым распространяется вода, в основном, изготавливаются из меди.

Сама панель является воздухонепроницаемой, для чего отверстия в ней заделываются силиконовым герметиком. Чем больше падающей энергии передается теплоносителю, протекающему в коллекторе, тем выше его эффективность. Повысить ее можно, применяя специальные оптические покрытия, не из-



лучающие тепло в инфракрасном спектре. Плоские коллекторы могут нагревать воду вплоть до 190-200 °С.

В трубчатом вакуумированном коллекторе абсорбер, как в термосе, встроен в вакуумированную стеклянную трубку. Вакуум обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, поэтому тепловые потери будут ниже, чем в плоских коллекторах, особенно при высоких температурах. Условием надежности и длительности эксплуатации вакуумированных трубчатых коллекторов является герметизация вакуума вокруг абсорбера.

В простом варианте циркуляция воды происходит естественно из-за разности температур в коллекторе и баке-аккумуляторе, который располагается выше. В более сложном варианте коллектор имеет свой контур, заполненный водой или антифризом. В контур включается насос для циркуляции теплоносителя. Бак может располагаться как непосредственно рядом с коллектором, так и внутри здания. В тех случаях, когда солнечной энергии недостаточно, температуру воды на нужном уровне поддерживает дополнительный электрический нагревательный элемент, который устанавливают за баком-аккумулятором. Такое решение позволяет повысить эффективность солнечной установки, поскольку КПД солнечного коллектора снижается с ростом температуры теплоносителя.

Схема циркуляции теплоносителя в системе на солнечном коллекторе представлена на рис. 1. Схема подключения солнечного коллектора на рис. 2.

Ключевым моментом работы такой солнечной системы является стеклянная вакуумная трубка. Каждая вакуумная трубка состоит из двух стеклянных колб. Внешняя трубка выполнена из чрезвычайно крепкого боросиликатного стекла, которое выдерживает удары града, который падает со скоростью 18 м/с и имеет в 25 мм диаметре [1].

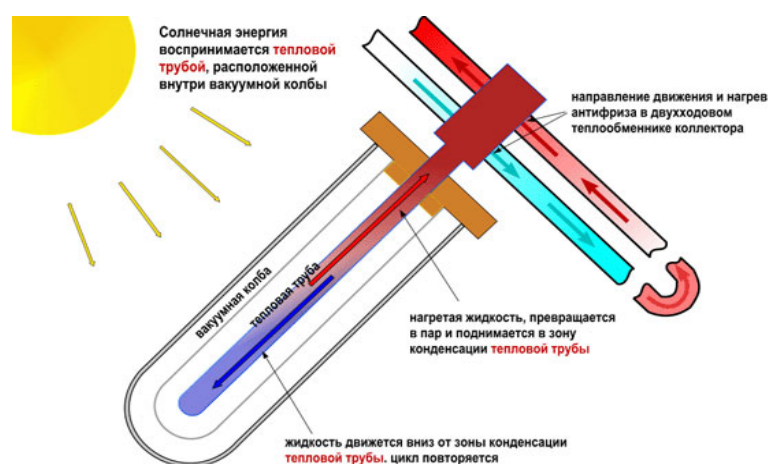


Рис. 1. Схема циркуляции теплоносителя в системе на солнечном коллекторе

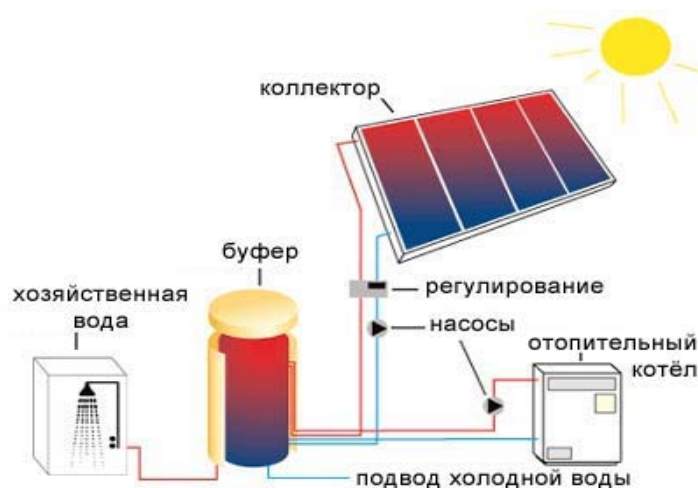


Рис. 2. Схема подключения солнечного коллектора

КПД солнечных коллекторов в первом приближении может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k\Delta T}{E},$$

где  $\eta_0$  – номинальный (оптический) КПД установки при нормальных условиях;  $k$  – коэффициент, зависящий от типа и теплоизоляции коллектора;  $\Delta T$  – разность температур теплоносителя и окружающего воздуха;  $E$  – инсоляция.

Данные для некоторых типов коллекторов приведены в таблице.

Характеристики солнечных коллекторов

| Тип коллектора                                     | Номинальный КПД, % | Коэффициент $k$ , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{м}^2}{\text{К}}$ |
|--|--------------------|---|
| Плоский солнечный коллектор                        | 72-75              | 3-5   |
| Вакуумный солнечный коллектор с тепловыми трубками | 60-65              | 0,7-1,1   |

Применение солнечных коллекторов позволяет уменьшить затраты на нагрев горячей воды на 60 %, затраты на отопление – на 30 % в год. Экономические расчеты, произведенные на основе опыта эксплуатации солнечных коллекторов, показывают, что при существующих и постоянно растущих ценах на органическое топливо срок окупаемости солнечных коллекторов составляет от 2 до 5 лет, в то время как, по заявлению производителей, реальный срок их службы составляет 25-30 лет.

#### Библиографический список

1. Альтернативная энергетика. Солнечная энергетика. Устройство вакуумных трубок [Электронный ресурс] URL: [alternativenergy.ru/solnechnaya-energetika/136-ustroystvo-vakuumnyh-trubok.html](http://alternativenergy.ru/solnechnaya-energetika/136-ustroystvo-vakuumnyh-trubok.html)

# ПОВЫШЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ПЕРЕСТРОЙКОЙ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПОД СВЕТОПРОЗРАЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Берг И.А., Батмунх С.

УрФУ, АН Монголии, [berg77777@gmail.com](mailto:berg77777@gmail.com)

При интенсивности падающей на коллектор [1] солнечной радиации  $q$  количество лучистой энергии, поглощённой поверхностью теплоприёмника, равно  $q_{\text{погл}} = k_{\text{вх}} * \varepsilon * q$ . (Здесь  $k_{\text{вх}}$  – коэффициент вхождения солнечной радиации через светопрозрачное ограждение коллектора;  $\varepsilon$  – степень черноты поверхности коллектора). Часть теплоты радиации, равная  $q - q_{\text{погл}} = (1 - k_{\text{вх}} * \varepsilon) * q$ , теряется в окружающую среду при взаимодействии со светопрозрачным ограждением коллектора. Величина  $k_{\text{вх}} * \varepsilon$ , равная  $q_{\text{погл}}/q$ , практически является оптическим КПД коллектора. В часы наиболее эффективной работы, когда угол между векторами лучистой энергии солнца и нормали к поверхности теплоприёмника составляет не более  $40...50^\circ$ , оптический КПД коллектора обычно находится в пределах  $65...72\%$ .

Часть уже поглощённой коллектором энергии теряется за счёт переноса её конвекцией от греющей панели к светопрозрачному покрытию и затем – теплопроводностью через материалы и воздушные прослойки последнего. Тепловые потери через тыльную и боковые стороны коллектора при качественно выполненной теплоизоляции незначительны.

Уравнение теплового баланса солнечного коллектора в стационарных условиях с учётом указанных тепловых потерь  $q_{\text{п1}}$  и  $q_{\text{п2}}$  имеют вид

$$\varepsilon_{\text{вх}} * \varepsilon * q = q_{\text{ж}} + q_{\text{п1}} + q_{\text{п2}}, \quad (1)$$

здесь  $q_{\text{ж}}$  – полезная теплота, идущая на нагрев теплоносителя (воды);  $q_{\text{п1}}$  – тепловые потери через прозрачное ограждение;  $q_{\text{п2}}$  – то же через тыльную и боковые изолированные стенки коллектора. КПД нагревателя в общем виде равен:

$$\eta = \frac{k_{\text{вх}} * \varepsilon * q - (q_{\text{п1}} + q_{\text{п2}})}{q}. \quad (2)$$

Теплопотери  $q_{\text{п1}}$ , по нашим расчетам, составляют заметную величину и, естественно, их снижение даст заметное повышение КПД, наряду с улучшением оптических характеристик коллектора. На величину  $q_{\text{п2}}$  оказывают влияние термические сопротивления: теплопроводности воздушных прослоек, находящихся между теплоприёмником – панелью и внутренним стеклом ( $\delta_{\text{в1}}/\lambda_{\text{в1}}$ ), между стёклами (в случае двойного остекления) ( $\delta_{\text{в2}}/\lambda_{\text{в2}}$ ), слоёв стекла ( $2\delta_{\text{с}}/\lambda_{\text{с}}$ ) и теплоотдачи с внешней поверхности остекления ( $1/\alpha_{\text{н}}$ ):

$$q_{\text{п1}} = \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{ос}}}{\frac{\delta_{\text{в1}}}{\lambda_{\text{в1}}} + \frac{2\delta_{\text{с}}}{\lambda_{\text{с}}} + \frac{\delta_{\text{в2}}}{\lambda_{\text{в2}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}}. \quad (3)$$

Проанализируем численные показатели конкретного примера расчёта тепловых потерь солнечного коллектора с прозрачной изоляцией из одного слоя оконного стекла толщиной 3 мм при зазоре  $\delta_{\text{в1}}=40$  мм. Например, примем интенсивность падающей солнечной радиации  $q=609$  Вт/м<sup>2</sup> (цифра, характерная для Забайкалья и Средней Монголии).

При оптическом КПД  $k_{\text{вх}} * \varepsilon=70,2\%$ , поглощённая радиация составит  $q_{\text{погл}} = k_{\text{вх}} * \varepsilon * q = 4276$  Вт/м<sup>2</sup>. При практически приемлемом значении произ-

водительности коллектора по горячей воде  $M_f = 3,3 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{ч)}$  и температуре воды на входе в коллектор  $t_{ж1} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , на выходе  $t_{ж2} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  и наружного воздуха  $t_{oc} = +10 \text{ }^\circ\text{C}$ , полезная теплота составит величину  $q_{ж} = M_f \cdot c_{рж} \cdot (t_{ж2} - t_{ж1}) = 2588 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\eta = q_{ж}/q = 42,5 \text{ \%}$ . Это соответствует оптическим потерям  $q - q_{погл} = 81,4 \text{ Вт/м}^2$  и суммарным потерям теплоты по теплопередаче через остекление и тыльную стенку –  $(q_{п1} + q_{п2}) = 168,8 \text{ Вт/м}^2$ . Тогда при стабилизированном ламинарном течении воды коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к воде, которая движется по трубе диаметром 15 мм, равен  $\alpha_{ж} = 183,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ . Отсюда, при средней температуре воды  $t_{ж} = 38,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , температуры стенки трубки (панели) и стекла соответственно равны  $t_r = 43,3 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_c = 13,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тогда по аналогичной формуле (3), записанной для однослойного остекления, можно определить потерю теплоты по теплопередаче через него. Она составляет  $q_{п1} = 75 \text{ Вт/м}^2$ . Таким образом,  $q_{п1}$  составляет 21,4 % от всех тепловых потерь коллектора.

Поэтому к одному из способов увеличения КПД можно отнести уменьшение теплопередачи через остекление. Из сравнения величин термических сопротивлений прозрачной изоляции коллектора можно увидеть, что для одного слоя остекления решающим фактором качества тепловой изоляции является термическое сопротивление воздушной прослойки, находящейся между теплоприёмником (панелью) и стеклом. Однако на величину термического сопротивления прослойки сильное влияние оказывает естественная конвекция воздуха в зазорах. Как известно, она увеличивает эффективную теплопроводность воздушной прослойки  $\lambda_{з1}$ . Если рассчитать параметр  $(Gr \cdot Pr)_{b,\delta}$ , который определяет влияние естественной конвекции на эффективную теплопроводность воздуха, находящегося в ограниченном пространстве, то он составляет  $(Gr \cdot Pr)_{b,\delta} = 1,66 \cdot 10^5$ . При этом коэффициент конвекции  $\epsilon_k = 3,86$ . Тогда эффективная теплопроводность воздуха в прослойке  $\lambda_z = \epsilon_k \cdot \lambda_b = 3,86 \cdot 2,64 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , т.е. теплопроводность воздушной прослойки в условиях его конвективного движения почти в 4 раза больше теплопроводности аналогичного слоя неподвижного воздуха. Отсюда – уменьшить теплотери через остекление можно устранением естественной циркуляции (местных контуров циркуляции) воздуха в зазоре между теплоприёмником и стеклом.

Параметры воздушной прослойки, обеспечивающие отсутствие заметной естественной конвекции, можно найти из выражения [2]:

$$Gr \cdot Pr < 124 \cdot Pr^{0,8} \cdot (0,955 + Pr) \cdot l / \delta_b, \quad (4)$$

где  $Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot (t_r - t_c) \cdot \delta_b^3}{\nu^2} \cdot Pr$  (здесь  $\beta$  и  $\nu$  – коэффициенты объёмного расширения и кинематическая вязкость воздуха при температуре  $t = 0,5 \cdot (t_r - t_c)$ ;  $\delta_b$  – толщина прослойки,  $l$  – высота ячейки местных контуров циркуляции,  $Gr$  и  $Pr$  – числа Грасгофа и Прандтля, соответственно. Анализ выражения (4) позволяет предложить способ уменьшения теплотерь через охлаждение путём разделения зазора между теплоприёмником и стеклом горизонтальными перегородками на ячейки высотой  $l$ , удовлетворяющей этому условию при  $Gr \cdot Pr < 10^3$ . Тогда для шага разделения зазора по его длине можно записать условие  $l < 6,48 \cdot \delta_b$ .

Разделяя воздушный зазор рассматриваемого в примере расчёта коллектора на горизонтальные ячейки высотой  $l=200$  мм, можно добиться уменьшения теплопотерь до  $21,2 \text{ Вт/м}^2$ . При этом КПД возрастает до  $51,3 \%$ .

Для солнечного коллектора с однослойным остеклением таким путём можно повысить КПД на  $8 \dots 10 \%$ . Для коллектора с двухслойным остеклением это повышение составляет несколько меньшую величину.

Таким образом, наряду с теплоизоляцией бака-аккумулятора и самого солнечного нагревателя (с тыльной и боковых сторон), потери теплоты могут быть заметно снижены установкой поперечных рёбер – перегородок с целью ослабления конвективных токов среды в зазоре между греющей панелью и прозрачным покрытием. Поскольку взятые из [2] и использованные нами критериальные выражения проверены многолетней практикой, то можно с уверенностью утверждать, что результаты приведённых нами расчётов будут иметь место при установке описанных перегородок в воздушном зазоре «стенка коллектора – стекло».

#### *Библиографический список*

1. Берг И.А. Экспериментальная проверка возможности использования солнечной энергии в условиях Среднего Урала // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых учёных, 22-26 ноября 2010 г. Екатеринбург: УрФУ, 2010. С. 339-341.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.

## **МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОПТИМИЗАЦИИ ДЕМОНТАЖА РАДИОАКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Богословская А.В., Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, otashlykov@list.ru*

*Ченцов А.Г., Институт механики и математики УрО РАН*

Маршрутная оптимизация при выполнении работ является эффективным способом минимизации дозовых затрат за счет уменьшения времени пребывания персонала в радиационных полях.

Работы по построению методов и алгоритмов решения задач маршрутной оптимизации, ориентированных на применение в прикладных задачах атомной энергетики (определение оптимального маршрута перемещения в нестационарных радиационных полях, определение оптимальной последовательности демонтажа радиоактивного оборудования при выводе АЭС из эксплуатации, оптимизация перестановки тепловыделяющих сборок при перегрузки ядерных реакторов), ведутся на протяжении ряда лет специалистами кафедр «Атомные станции и ВИЭ» и «Прикладная математика» Уральского федерального университета в тесном сотрудничестве с Институтом математики и механики Уральского отделения Российской академии наук. Полученные научные результаты являются новыми в мировой практике.

Разработанный алгоритм решения данной задачи представляет особый интерес для определения оптимальной траектории перемещения людей в условиях ликвидации последствий аварии на радиационно-загрязненной территории. Исходными для оптимизации перемещений в радиационных полях могут служить данные, полученные в результате радиационного обследования территории, либо моделирования радиационных полей с помощью специализированных программ.

Для решения задачи минимизация облучения при проведении работ по демонтажу оборудования энергоблоков АЭС, выводимых из эксплуатации, разработан оригинальный алгоритм построения функции Беллмана и программная реализация процедуры метода динамического программирования. Формулировкой этой задачи является определение оптимальной последовательности демонтажа радиоактивных объектов с целью минимизации облучения персонала.

Вычислительные эксперименты, в том числе с использованием суперкомпьютера «Уран», показывают эффективность разработанной программы. Оптимизация траектории перемещения в радиационных полях позволяет снизить «транзитную» дозу облучения примерно на 20 %. Оптимизация последовательности демонтажа позволяет снизить дозы облучения персонала на 25...40 %. Оптимизация траектории движения персонала в радиационно-опасных зонах и последовательности демонтажа радиационно-загрязненного оборудования имеют значительный потенциал в минимизации облучения персонала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 13-08-00643 и 13-01-96022).

#### *Библиографический список*

1. Коробкин В.В., Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Ченцов А.Г. Методы маршрутизации и их приложения в задачах повышения эффективности и безопасности эксплуатации атомных станций / под общ. ред. чл.-корр. РАН И.А. Каляева: монография. М.: Новые технологии, 2012. 234 с.
2. Chentsov A.G., Sesekin A.N., Shcheklein A.N., Tashlykov O.L. On One Modification of Traveling Salesman Problem Oriented on Application in Atomic Engineering. American Institute of Physics // Conference Proceeding. 2010. Vol. 1293. P. 197-202.
3. Ташлыков О.Л., Сесекин А.Н., Щеклеин С.Е., Балускин Ф.А., Ченцов А.Г., Хомяков А.П. Возможности математических методов моделирования в решении проблемы снижения облучаемости персонала // Вопросы радиационной безопасности. 2009. № 4. С. 47-57.

## **МИНИ-ТЭЦ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМОМ ТОПЛИВЕ – СВАЛОЧНОМ БИОГАЗЕ**

*Бодрова Е.С., Нараева Р.Р.  
Южно-Уральский государственный университет  
Lennok13@mail.ru*

По данным Министерства по радиационной и экологической безопасности и экологии Челябинской области, ежегодно в области образуется порядка 1,5 млн т твердых бытовых отходов (ТБО). Все отходы в области в основном складировются на городских санкционированных и несанкционированных свалках, занимая огромные территории, загрязняя окружающую среду и ландшафт.

На сегодняшний день актуальным является решение проблемы утилизации и переработки образующихся отходов в области. Эту проблему решит новый полигон ТБО, строительство которого развернется в Красноармейском районе Челябинской области в 2014 году. На полигон будут поступать отходы промышленного центра области – города Челябинска и ближайших населенных пунктов области. Количество поступающих отходов на полигон составит около 1 млн т в год. В соответствии с современной концепцией развития Челябинской области на одной территории с полигоном расположится мусороперерабатывающий комплекс (МПК), на котором отходы будут сортироваться, а отдельные фракции перерабатываться. Кроме того, данный подход поможет увеличить срок службы полигона.

В Красноармейском районе в настоящее время нет достаточных свободных мощностей для энергоснабжения полигона ТБО и МПК, то есть нужен альтернативный вариант энергоснабжения данных потребителей. Одним из решений может быть строительство мини-ТЭЦ на базе когенерационных установок (КГУ), топливом для которой будет являться свалочный биогаз (СБ), образующийся в результате анаэробного разложения органической части ТБО. Основными его компонентами является метан (~50) и углекислый газ (~50) – парниковые газы.

СБ относится к возобновляемым нетрадиционным источникам энергии, так как ТБО является неисчерпаемым топливом до тех пор, пока существует человечество.

Комплексное строительство полигона ТБО и МПК направлено на создание экономически выгодного проекта с целью уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду. Требуется исследовать возможность получения газообразного топлива при анаэробном разложении органической части отходов, с дальнейшей выработкой тепловой и электрической энергии на мини-ТЭЦ, для собственных нужд полигона ТБО и МПК.

Полигон ТБО со всеми административно-бытовыми помещениями и МПК нуждаются в электрической и тепловой энергии. Для питания электроприемников (дробилки, измельчители, конвейеры и т.п.), наружного и внутреннего освещения требуется электрическая энергия. Для горячего водоснабжения и отопления требуется тепловая энергия.

По расчету, сделанному на основании «Методики расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов» [1], удельный выход биогаза за период его активной генерации при метановом брожении для Челябинской области:

$$Q = 10^{-6} R \cdot (100 - W) \cdot (0,92 \cdot Ж + 0,62 \cdot V + 0,34 \cdot Б) = 0,2044 \text{ кг/кг отходов,}$$

где  $R$  – содержание органической составляющей в отходах (70 %),  $W$  – влажность отходов (50 %),  $Ж$  – содержание жироподобных веществ в органике отходов (2 %),  $V$  – содержание углеводородных веществ в органике отходов (83 %),  $Б$  – содержание белковых веществ в органике отходов (15 %).

Количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне отходов:



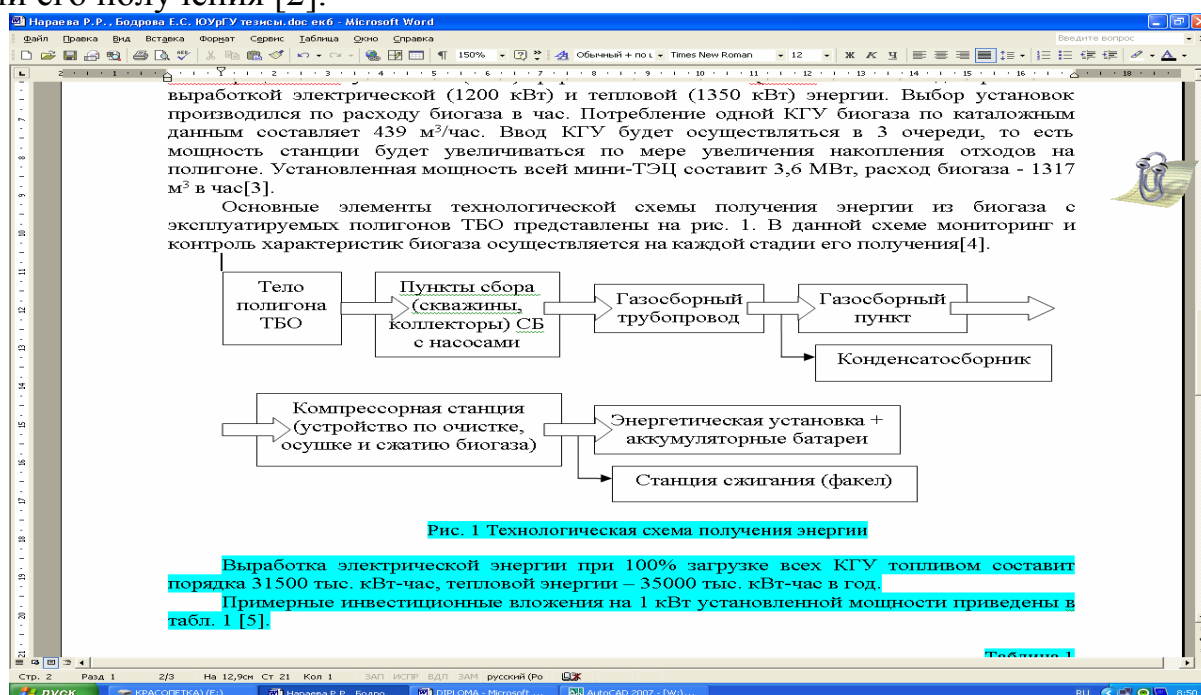
$$P_{уд} = \frac{Q}{t_{сбр}} = \frac{0,2044}{21,5} \cdot 10^3 = 9,5 \text{ кг/т отходов в год,}$$

где  $t_{сбр}$  – период полного сбраживания органической части отходов, для Челябинской области равен 21,5 лет.

Средняя плотность свалочного биогаза равна  $\rho_{сб} = 1,254 \text{ кг/м}^3$ , то есть с 1 тонны отходов образуется  $7,58 \text{ м}^3$  биогаза [2].

В результате расчетов количество СБ, выделившегося за период с начала эксплуатации полигона и в течение последующих 20 лет, составит более 1 млрд  $\text{м}^3$ . В час образуется порядка  $1\,500 \text{ м}^3$  биогаза.

Основные элементы технологической схемы получения энергии из биогаза с эксплуатируемых полигонов ТБО представлены на рисунке. В данной схеме мониторинг и контроль характеристик биогаза осуществляется на каждой стадии его получения [2].



Технологическая схема получения энергии

Для системы «Полигон ТБО-МПК» с учетом всего вышеописанного, самым рациональным решением будет строительство мини-ТЭЦ с установкой трех газопоршневых когенерационных установок (КГУ) фирмы TEDOM типа Quanto D1200 с одновременной выработкой электрической (1 200 кВт) и тепловой (1 350 кВт) энергии. Выбор установок производился по расходу биогаза в час. Потребление одной КГУ биогаза по каталожным данным составляет  $439 \text{ м}^3/\text{ч}$  [3]. Ввод КГУ будет осуществляться в 3 очереди, то есть мощность станции будет увеличиваться по мере увеличения накопления отходов на полигоне. Установленная мощность всей мини-ТЭЦ составит 3,6 МВт, расход биогаза –  $1\,317 \text{ м}^3$  в час. Тогда выработка электрической энергии при 100 % загрузке всех КГУ топливом составит порядка 31 500 тыс. кВт·ч, тепловой энергии – 35 000 тыс. кВт·ч в год.

Примерные инвестиционные вложения на 1 кВт установленной мощности приведены в таблице [4].



## Инвестиционные вложения в основные компоненты системы

| Компонент системы             | Стоимость, долл. США/1 кВт |
|-------------------------------|----------------------------|
| Система сбора                 | 200-400                    |
| Система высасывания           | 200-300                    |
| Система утилизации            | 850-1200                   |
| Планирование и проектирование | 250-350                    |
| Итого                         | 1550-2250                  |

Расчет окупаемости всей технологической части проекта составит около 6,8 лет, а себестоимости 1 кВт·ч электроэнергии будет находиться в пределах 1 рубля.

Собственная мини-ТЭЦ близка к потребителю, позволяет экономить ископаемое топливо и денежные средства на его приобретение и транспортировку, поставка электрической и тепловой энергии осуществляется в точно определенном объеме, обладает дешевой энергией по сравнению с покупаемой из сети (цена 1 кВт·ч электрической энергии для промышленных потребителей находится в районе 4 рублей).

Реализация данного проекта поможет решить критическую ситуацию, сложившуюся с утилизацией отходов в Челябинской области, улучшить экологическую обстановку (за счет снижения эмиссии парниковых газов), позволит получить дополнительную энергию для энергоснабжения полигона и МПК, даст толчок для дальнейшего развития возобновляемой энергетики в области.

### *Библиографический список*

1. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов URL: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/47/47223/index.php](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/47/47223/index.php)
2. Когенерация. TEDOM. URL: <http://kgu.tedom.com/>
3. Технологический регламент получения биогаза с полигонов ТБО. URL: [http://www.biointernational.ru/sites/default/files/tekhnologicheskii\\_reglament\\_polucheniya\\_biogaza\\_s\\_poligonov\\_tverdykh\\_bytovy.pdf](http://www.biointernational.ru/sites/default/files/tekhnologicheskii_reglament_polucheniya_biogaza_s_poligonov_tverdykh_bytovy.pdf)
4. Energy recovery from landfill gas in Denmark and worldwide. URL: <http://www.lei.lt/Opet/pdf/Willumsen.pdf>

## **СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Г. РЕЙКЬЯВИКА КАК ПРИМЕР ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ**

*Борисова О.В., Бабенко И.А., Вальцева А.И.  
УрФУ, cielo10@yandex.ru*

Геотермальная энергетика – получение тепловой или электрической энергии за счет тепла земных глубин. Экономически эффективна в районах, где горячие воды приближены к поверхности земной коры. Извлечение геотермальной энергии приповерхностного грунта с помощью мелких скважин (из-за небольшой глубины залегания) не требует значительных капиталовложений, обеспечивая, тем не менее, путем нетрадиционного недропользования, широ-

чайший спектр объектов с малым и средним теплоснабжением (от индивидуального жилого дома до многоэтажных зданий и комплексов).

Рост цен на органическое топливо существенно повышает конкурентоспособность энергетических технологий на основе ВИЭ.

Последние годы характеризуются резким увеличением объемов в расширении областей использования геотермальных ресурсов. В зависимости от температуры геотермальные ресурсы можно использовать в электрификации и теплоснабжении, промышленности, сельском хозяйстве и других областях. Новейшие энергетические технологии с использованием геотермальных ресурсов отличаются экологической чистотой и по эффективности приближаются к традиционным. В последние годы быстрыми темпами развиваются технологии прямого использования геотермальных ресурсов в теплоснабжении. Геотермальные ресурсы представляют собой практически неисчерпаемый, возобновляемый и экологически чистый источник энергии, который будет играть существенную роль в энергетике будущего.

Геотермальные станции имеют ряд преимуществ и недостатков. Например, геотермальные станции нельзя строить на сейсмически опасных территориях.

Вопросы коррозии металлов и отложений солей на поверхности оборудования и их работе в геотермальной среде представляют собой сложную задачу, решением которой занимаются многие исследователи. Нет универсального средства защиты оборудования, работающего с геотермальной водой или паром: в каждом конкретном случае задачи решаются по-разному. Частичным решением этой проблемы является повышение герметичности резьбовых соединений скважин и покрытие их смолой, а также усовершенствование теплообменных аппаратов.

Применение геотермальных вод не может рассматриваться как полностью экологически чистое, потому что пар часто сопровождается газообразными выбросами, включая радон. На геотермальных станциях пар, вращающий турбину, должен быть конденсирован, что требует источника охлаждающей воды, точно так же, как этого требуют электростанции на угле или ядерном топливе. В результате сброса как охлаждающей, так и конденсационной горячей воды возможно тепловое загрязнение среды. Кроме того, там, где смесь воды и пара извлекается из земли для электростанций, работающих на влажном паре, и там, где горячая вода извлекается для станций с бинарным циклом, воду необходимо удалять. Эта вода может быть необычно соленой (до 20 % соли), и тогда потребуется перекачка ее в океан или нагнетание в землю. Сброс такой воды в реки или озера мог бы уничтожить в них пресноводные формы жизни. В геотермальных водах нередко содержатся также значительные количества сероводорода, опасного в больших концентрациях.

Одним из недостатков геотермальной энергетики зачастую является удаление станции от потребителя.

Основное направление развития геотермальной энергетики — отбор теплоты не только термальных вод, но и водовмещающих горных пород путем закачки отработанной воды в пласты, преобразование глубинной теплоты в элек-

трическую энергию. Такое использование глубинной теплоты обеспечит экологическую безопасность технологии ее использования.

Геотермальная станция проста в управлении и может быть полностью автоматизирована и будет работать без обслуживающего персонала. Сам труд по обслуживанию такой станции сводится к высококвалифицированному техническому контролю за автоматически протекающим технологическим процессом.

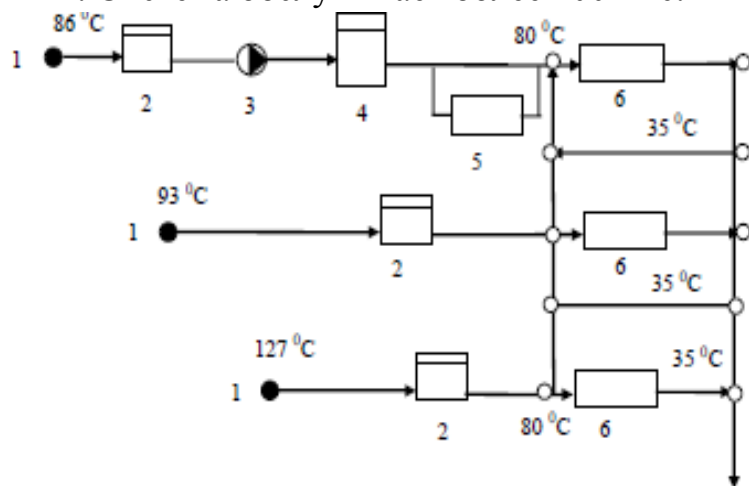
Эксплуатационные расходы на ней будут очень низкими. Себестоимость электроэнергии на геотермальных станциях много меньше, чем на тепловых и даже на гидравлических. Станции такого типа гигиеничны, не загрязняют окружающую среду выхлопами и дымом. Станция не загрязняет атмосферу золой и дымом и может быть установлена непосредственно в населённом пункте.

Главным достоинством геотермальной энергии является ее практическая неиссякаемость и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года.

В качестве примера широкого использования геотермальной энергетики можно рассмотреть Исландию и конкретно – геотермальную систему теплоснабжения г. Рейкьявика.

Следует отметить, что в Исландии нет собственных месторождений нефти и газа. В то же время, 80 % энергии вырабатывается за счет возобновляемых источников. Благодаря ледникам и вытекающим из них бурных рекам, 75 % вырабатываемой энергии приходится на гидроэнергетику, геотермальные источники вырабатывают около 25 % энергии, а на долю традиционных углеводородов приходится всего 0,5 %. Все нефтепродукты импортируются. Сегодня Исландия является лидером по количеству электроэнергии, вырабатываемой на душу населения. В стране имеются планы практически полного отказа от использования углеводородов в пользу водородного топлива.

Система геотермального теплоснабжения г. Рейкьявика обеспечивает около 99 % потребностей в тепле. Эта система потребляет 2348 л/с геотермальной горячей воды с температурой 86–127 °С. Город обеспечивается горячей водой из трех районов, находящихся в 15–16 км севернее столицы, и из источников, расположенных в самом городе. Принципиальная схема геотермального теплоснабжения г. Рейкьявик показана на рисунке. Тепловая мощность системы в Рейкьявике более 350 МВт, мощность пиковой установки на жидком топливе 35 МВт. Система обслуживает более 100 тыс. жителей.



Принципиальная схема организации теплоснабжения в г. Рейкьявике:  
1 – добычные геотермальные скважины; 2 – деаэраторы;  
3 – насосная станция;  
4 – аварийные (резервные баки); 5 – пиковая котельная; 6 – потребители тепла

Магистральные трубопроводы для перемещения геотермальной жидкости, т.е. смеси горячей воды и пара, изготовлены из стальных труб и установлены над поверхностью Земли. Данная местность характеризуется суровыми климатическими условиями. Температура зимой опускается в этом районе до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , поэтому при проектировании необходимо было учитывать эффект температурного расширения трубопровода. Принимая во внимание этот факт, проект на монтаж трубопроводов предусматривал применение компенсационных вставок, компенсаторных обходов и специально спроектированных конструкций опор, которые обеспечивают возможность смещения труб при изменении их температуры. Основное технологическое оборудование электростанции состоит из турбин-генераторов, главных силовых трансформаторов, подстанции напряжением 135 кВ, распределительных сетей 11 кВ и понижающих трансформаторов, главного распределительного устройства напряжением 400 В, станций управления двигателями электроприводов, пульта управления и обеспечения аварийного электроснабжения напряжением 110 В постоянного тока, резервный дизель-генератор, а также системы управления и защиты для всех систем, эксплуатируемых на электростанции. Геотермальная вода подается в город по двухтрубному трубопроводу (трубы диаметром 350 мм), годовой расход воды около 8 млн  $\text{м}^3$ . Вода подается в баки-аккумуляторы суммарной емкости 8400  $\text{м}^3$ , установленные на возвышенном месте. Баки выравнивают суточный график потребления горячей воды. От баков вода течет по магистральному двухтрубному трубопроводу диаметром 400 мм. Уличные однострунные тепло-трассы имеют суммарную длину 72 км, домовые вводы диаметром до 70 мм – более 100 км.

Потенциал использования геотермальной энергии в некоторых регионах России (например, на Камчатке) – огромен и способен полностью решить проблемы местной энергетики. Перспективные месторождения в России – Паратунское на Камчатке, Казьминское в Ставропольском крае, Черкесское в Карачаево-Черкесии, Кизлярское и Махачкалинское в Дагестане, Мостовское и Вознесенское в Краснодарском крае. Технические ресурсы геотермальной энергии России оцениваются в 11870 млн т у.т., что примерно в 10 раз превышает разведанные энергетические запасы органического топлива. По оценкам специалистов, за счет геотермальных ресурсов и новых технологий, таких как геотермальные тепловые насосы и бинарные электрические станции, можно в ближайшие 10-15 лет сократить на 20–30 % потребление органического топлива в стране.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ШНЕКОВОЙ ВЭУ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ**

*Боровский Н.И., Коржавин С.А., Щеклеин С.Е., Немихин Ю.Е.  
УрФУ, s.e.shcheklein@urfu.ru*

*Тимофеев В.М., НПО автоматики имени академика Н.А. Семихатова*

Шнековые ВЭУ обладают рядом преимуществ по сравнению со многими другими ВЭУ: это отсутствие аэродинамического шума, вибраций и усталост-

ной нагрузки на лопасти, плавность работы, пониженное воздействие на здания, обеспечиваемые электроэнергией с помощью шнековой ВЭУ.

Исследование работы двухроторного шнекового самоориентируемого агрегата (рис. 1) проводилось на исследовательском полигоне кафедры АСи-ВИЭ.



Рис. 1. Двухроторный шнековый самоориентируемый агрегат.

Напряжение, ток и скорость ветра измерялись с помощью датчиков системы мониторинга установок НиВИЭ.

Рассматривая почасовой график зависимости  $U(v)$  (рис. 2), можно определить минимальную скорость ветра для работы шнековой ВЭУ.

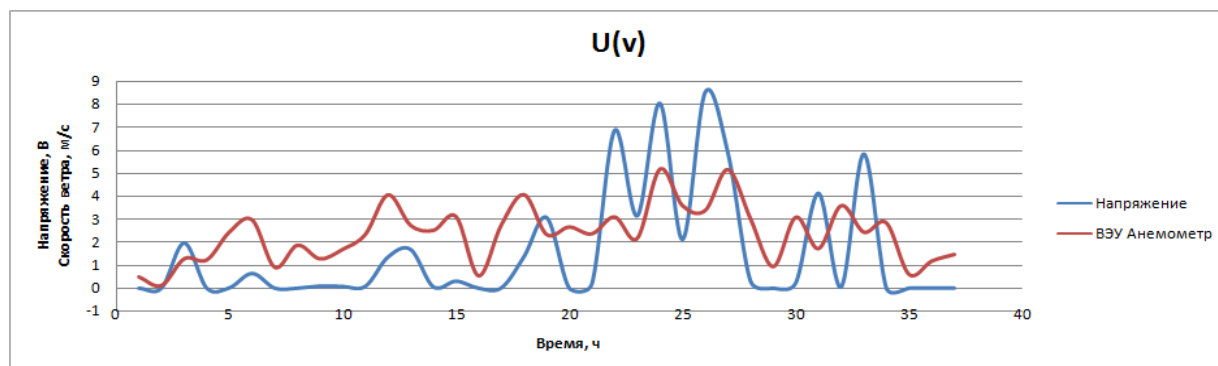


Рис. 2. Почасовой график зависимости напряжения от скорости ветра

На рис. 3 и 4 представлены посекундные графики напряжения и скорости ветра:

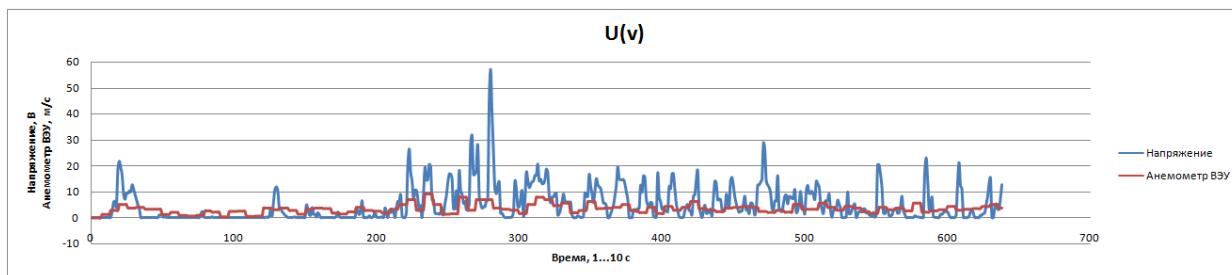


Рис. 3. График секундной зависимости напряжения от скорости ветра

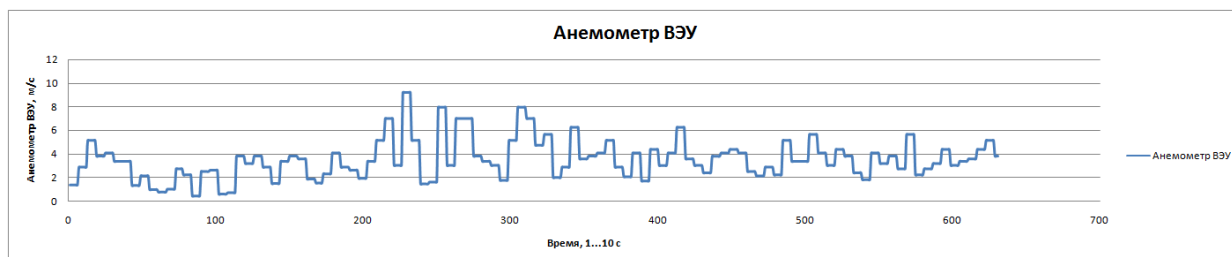


Рис. 4. График скорости ветра, соответствующий графику на рис. 3

Из графиков видно, что шнековая ВЭУ чувствительна к кратковременным изменениям скорости ветра. Наиболее высокие скачки напряжения, 20-50 В, были зафиксированы при порывах ветра, достигающих 5-7 м/с.

На рис. 5 представлена зависимость тока нагрузки от скорости ветра.

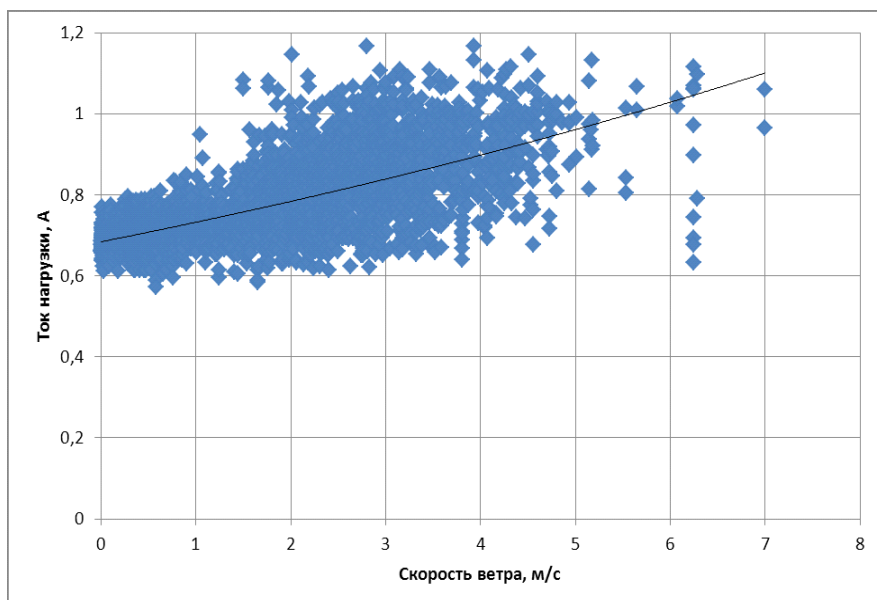


Рис. 5. График зависимости тока нагрузки от скорости ветра

Из представленных графиков можно сделать вывод, что целесообразно использовать ВЭУ при скорости ветра более 5 м/с.

## **ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОСОЛЕВОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА**

*Вальцева А.И., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, Alex-Liga@yandex.ru*

По данным Росстата, более 60 % электроэнергии вырабатывается на тепловых электрических станциях. При этом КПД отечественных станций 32-33 %.

Крупные угольные ГРЭС сжигают миллионы тонн угля в год, что отрицательно сказывается на экологической обстановке не только в районе станции.

В настоящее время основной долей энергии, используемой человечеством, является химическая энергия реакции горения природного топлива. Химическая энергия этой реакции затем превращается либо в механическую работу (ДВС), либо в электрическую энергию (ТЭС). Недостатком существующих методов преобразования энергии является малый КПД. Особенно большие потери энергии происходят на стадии превращения теплоты в механическую работу.

От 60 до 90 % химической энергии топлива рассеивается в окружающем пространстве. Одним из путей решения задачи экономии топливно-энергетических и сырьевых ресурсов, осуществления мер по защите окружающей среды является разработка и использование прямых методов преобразования химической энергии в электрическую. Поэтому особый интерес представляет прямой путь превращения энергии окисления топлива в электрическую энергию.

Данная разработка предлагает нетрадиционное использование угля и получение электрической энергии с помощью жидкосолевого топливного элемента.

Преобразователями химической энергии в электрическую являются химические источники тока. Существует много вариантов подобных источников тока, отличающихся как конструкцией, так и природой протекающих в них токообразующих реакций.

В последние два десятилетия появились и продолжают появляться новые разновидности источников тока. Химические источники тока используются почти во всех областях техники и народного хозяйства. Но следует отметить, что, в отличие от непрерывно работающих электростанций, автономные источники тока работают только кратковременно. Однако, распространение химических источников тока связано с широким диапазоном электрической мощности, которая может быть получена от них.

Исследовательский стенд относится к классу «топливных элементов». По принятой в Российской Федерации терминологии это только электрогенерирующая часть более сложных устройств преобразования химической энергии, включая системы регулирования и распределения – электрохимических генераторов. В топливных элементах, в отличие от первичных источников, в процессе работы реагенты подводятся непрерывно и одновременно удаляются продукты реакции. Электрическая энергия генерируется в них, пока подводятся реагенты.



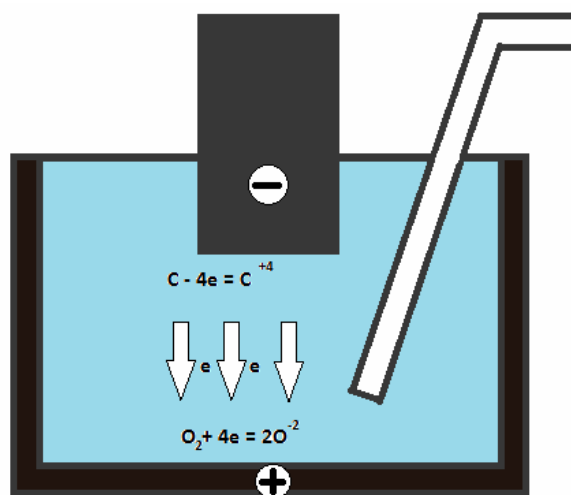


Рис. 1. Устройство угольного топливного элемента

Угольный топливный элемент состоит из анода, катода и электролита (рис. 1). На аноде окисляется, то есть отдает электроны, восстановитель, свободные электроны с анода поступают во внешнюю цепь, а положительные ионы удерживаются на границе анод-электролит ( $\text{CO}^+$ ). С другого конца цепи электроны подходят к катоду, на котором идет реакция восстановления (присоединение электронов окислителем  $\text{O}_2$ ). Затем ионы окислителя переносятся электролитом к катоду.

В угольном топливном элементе сведены вместе три фазы физико-химической системы:

- газ (топливо, окислитель);
- электролит (проводник ионов);
- металлический электрод (проводник электронов).

В подобном топливном элементе происходит преобразование энергии окислительно-восстановительной реакции в электрическую, причем процессы окисления и восстановления пространственно разделены электролитом (рис. 2).

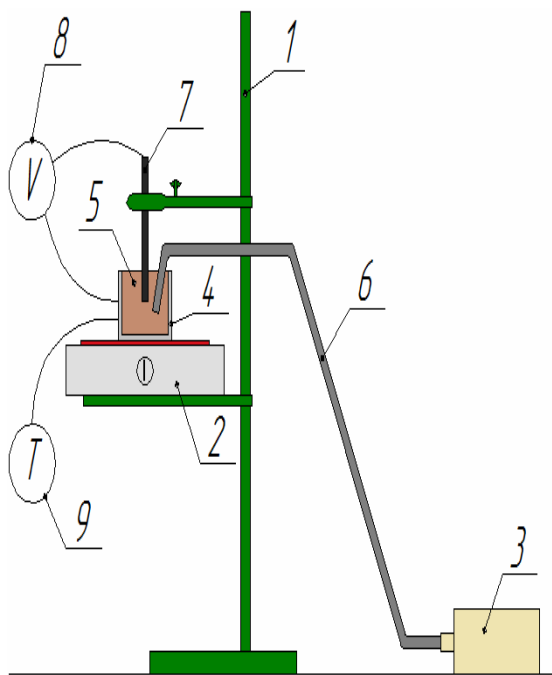


Рис. 2. Принципиальная схема установки жидкосолевого топливного элемента: 1 – штатив, 2 – электрическая печь, 3 – компрессор, 4 – стакан из нержавеющей стали (катод), 5 – электролит, 6 – воздухоподводящая трубка, 7 – графитовый электрод (анод), 8 – вольтметр, 9 – термометр с термопарой

Для работы любого угольного топливного элемента необходимы следующие компоненты:

- анод;
- катод;
- топливо;
- электролит;
- подвод кислорода для окисления.

В своей установке мы совместили анод и топливо, используя графитовый электрод. Графитовый стержень был взят по причине его отличной электрической проводимости. Это позволило не задумываться о качестве используемого топлива и сразу сосредоточиться на оптимизации установки. Катодом выступает стакан из нержавеющей стали. Нержавею-



шая сталь является отличным проводником и практически не подвержена коррозионному воздействию электролита. В качестве электролита выступает расплав гидроксида натрия. Подвод кислорода к зоне окисления осуществляется подачей воздуха через железную трубку. Нагнетание воздуха осуществляется работой компрессора.

Получены результаты в ходе первых экспериментов:

- средняя мощность за все время работы составит 31 мВт;
- среднее значение получаемой ЭДС (электродвижущей силы) 0,789 В;
- длительность работы может быть более 100 часов;
- сила тока приблизительно 0,039 А.

Судя из первых расчетов, можно с уверенностью сказать, что идея получения электроэнергии из топлива в топливном элементе, минуя его сжигание, имеет право на существование.

В ходе проведения дальнейших исследований планируется:

- 1) верифицировать имеющиеся данные;
- 2) проведение экспериментов с переменной концентрацией окислителя (воздуха);
- 3) проведение экспериментов по исследованию эффективности использования чистого кислорода в качестве окислителя;
- 4) проведение экспериментов по исследованию эффективности использования в качестве окислителя озона.

Угольный топливный элемент является экологически чистым источником энергии: высокий КПД позволит снизить расход топливных ресурсов, в ходе реакции в атмосферу выделяется только  $\text{CO}_2$ , оксиды серы и всех других элементов связываются щелочью.

## **ВЕТРОПАРК КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ. МИРОВОЙ ОПЫТ**

*Воробьева Я.С.*

*УрФУ, [www.vorobevayana@rambler.ru](mailto:www.vorobevayana@rambler.ru)*

В государствах, где нет достаточного запаса природных ресурсов, нетрадиционные источники энергии являются альтернативой и играют важную роль, а их доля на энергетическом рынке растет.

Общественная организация "Беллона" опубликовала список из 5 широко-масштабных проектов применения нетрадиционных источников энергии 2010 года, которые были реализованы в некоторых странах. В список вошли следующие проекты:

- 1) *Thanet: Морской ветропарк мощностью 300 МВт в Великобритании*

Строительство этого ветропарка, стоимостью 1,2 млрд долл. США, было завершено в последнем квартале 2010 г. Ветропарк состоит из 90 ветровых турбин и имеет общую мощность 300 МВт. Ветропарк расположен на глубине 20-25 м и занимает площадь в 35 км<sup>2</sup>. Турбины до 115 м и с минимальным зазором над уровнем моря в 22 метра. Расстояние между турбинами примерно 500 м в длину и 800 м в ширину.

Thanet расположен примерно в 12 км от Foreness Point, самой восточной части Kent. Восточный Kent в выигрыше от развития ветропарка, так как там появится дополнительная потребность в рабочей силе и расширение туризма из-за возникшего интереса к ветроэлектростанции у населения. Thanet также внес заметный вклад в область возобновляемой энергетики, в частности, в юго-восточной части Великобритании, обеспечив смягчение остроты проблемы изменения климата.

### *2) Rødsand II: Морской ветропарк мощностью 207 МВт в Дании*

Дания является мировым лидером в использовании мощности при помощи ветра. Уже сегодня, почти одна четверть датской электроэнергии происходит от энергии ветра (23 %). Через 30 лет почти 50 % всей электроэнергии в Дании будет производиться благодаря ветру. Дания является мировым лидером по объему электроэнергии, вырабатываемой от ветра, на душу населения. А так как энергия ветра заменяет угольные электростанции, поэтому опасные для окружающей среды выбросы в Дании снижаются на 30 %.

Весной 2009 года E.ON построил ветропарк Rødsand 2, к югу от Laaland. Ветропарк, который был открыт 12 октября 2010 г., находится в трех километрах к западу от Nysted.

Rødsand 2, который состоит из 90 ветряных турбин с общей мощностью 207 мегаватт, производит 800 млн кВт·ч в год и обеспечивает 200000 домохозяйств электричеством. Rødsand 2 заменяет уголь, сокращает выбросы углекислого газа на 700 тыс. т в год.

### *3) Fowler Ridge: Расширение ветропарка в США*

Fowler Ridge является одним из новых ветроэнергетических проектов, построенных в США. В недавнем докладе Американской ассоциации энергии ветра (AWEA) указывается тот факт, что ветер стал одним из самых быстрых в мире растущих источников энергии. Мощность энергии ветра США вырастает в среднем на 32 % каждый год в течение последних пяти лет, с 2007 по 2011 г., и в настоящее время насчитывает более 31000 МВт.

Энергия ветра была на втором месте после природного газа в течение четырех лет. Министерство энергетики США опубликовало отчет за 2008 год, который показал, что энергия ветра может генерировать целых 20 % электроэнергии страны, а то, что атомная энергетика генерирует сегодня – к 2030 году.

Например, в 2008 году, было установлено более 8500 МВт ветровой энергии, что составляет 42 % всех новых генерирующих мощностей в США в этом году, по оценкам AWEA.

Fowler Ridge расположен в округе Benton, штат Indiana. Это одна из крупнейших наземных ветряных электростанций в мире. Завод является собственностью и управляется совместно с Alternative Energy. North America и Dominion Resources имеет по 50 % доли в нем.

Fowler Ridge имеет установленную мощность 750 МВт, которая отвечает требованиям потребляемой мощности 200000 средних американских домов.

### *4) Penascal: Ветропарк мощностью 404 МВт в США.*

Penascal – это ветроэнергетический проект, который расположен в Kenedy, штат Texas. 84 турбины на каждом этапе этого проекта ветряной элек-

тростанции генерируют 201,6 мегаватт (МВт) чистой, возобновляемой энергии и обеспечивают рабочие места и налоговые поступления.

Проект такого размера, как правило, может производить электроэнергию для 140 000 домов, согласно расчету Американской ассоциации энергии ветра.

Расположенный к югу от моря, Penascal был разработан, чтобы избежать или свести к минимуму воздействие на окружающую среду, а именно на птиц, диких животных и водно-болотные угодья. В течение трех лет биологи проводили более 4000 часов для изучения природы, в частности, поведения животных, следили за изменениями погодных условий [1].

5) *Sarnia PV plant: Солнечная электростанция мощностью 97 МВт в Канаде*

Построенная первая Sarnia PV plant – технология солнечной энергетики, введенная в эксплуатацию в 2010 году. Проект является крупнейшей работающей солнечной фотоэлектрической электростанцией в Канаде и находится в числе крупнейших в мире фотоэлектрических солнечных электростанций на момент ввода в эксплуатацию.

Получилось сохранить проект, как экологически чистый, насколько это возможно, не используя воды во время строительства и оставляя минимальное количество отходов, в том числе и шумовое загрязнение.

В декабре 2010 года Sarnia PV plant электростанция была названа "Солнечный фотоэлектрический проект года».

*Библиографический список*

1. Энергия биомассы // Энергия будущего: Научно-аналитический журнал. 2006. № 6 (июнь). С. 65-66.

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

*Гесс И.А., Михайлишин Е.В.  
УрФУ, kafedratgiv@yandex.ru*

В 2011 г. Россия вступила в ВТО. Это означает, что стоимость энергоносителей на внутреннем рынке будет расти. Придётся понимать в необходимости использования современной энергосберегающей и что, немаловажно, экологической техники.

В данной работе приводится один из возможных вариантов системы теплоснабжения для вновь застраиваемых районов с использованием теплонасосных установок (ТНУ) [1]. В качестве объекта теплоснабжения рассматривается микрорайон «Тихий берег» в г. Екатеринбурге, расположенный на берегу Нижне-Исетского пруда. Сравниваются два варианта подготовки воды для систем горячего водоснабжения зданий.

1. Подготовка горячей воды осуществляется в центральном тепловом пункте (ЦТП) по закрытой схеме в водоподогревателях. Теплоноситель с расчётными параметрами 150–70 °С поступает от централизованной системы теплоснабжения.

2. Подготовка горячей воды осуществляется с помощью ТНУ. Источником низкопотенциальной энергии является вода Нижне-Исетского пруда с температурой 5 °С (зимой) и 15 °С (летом).

В обоих вариантах предусматривается установка баков-аккумуляторов горячей воды, что позволяет сгладить неравномерность потребления тепловой нагрузки на горячее водоснабжение в течение суток, снизить расчётную тепловую нагрузку на горячее водоснабжение с максимальной до средней. При этом снижается стоимость оборудования ЦТП.

Средняя тепловая нагрузка на горячее водоснабжение микрорайона составляет 2,02 МВт. Температура горячей воды на выходе из ЦТП составляет 65 °С. К установке приняты 5 модульных тепловых насосов парокомпрессионных модели VWMN380 производства компании ООО «Экоклимат» (г. Томск) мощностью 419 кВт каждый. Температура горячей воды после тепловых насосов не превышает 60 °С, поэтому для обеспечения 65 °С дополнительно устанавливаются водоподогреватели, получающие теплоноситель от централизованного теплоснабжения. Температура охлаждённой воды, возвращаемой в пруд, 2 °С.

Для рассматриваемых вариантов рассчитаны капитальные эксплуатационные и приведённые затраты. Капитальные затраты включают в себя стоимость оборудования и монтажных работ. Учтена также плата за подключение к тепловым и электрическим сетям. Эксплуатационные расходы включают в себя стоимость энергоресурсов, амортизационные отчисления и годовые издержки по ремонту и обслуживанию систем. Стоимость тепловой энергии от централизованного источника теплоснабжения принята в размере 1191 руб./Гкал, электрической энергии – 3084 руб./МВт·ч (дневной тариф), 1668 руб./МВт·ч (ночной тариф). Значение коэффициента экономической эффективности капиталовложений при расчёте приведённых затрат принималось равной 0,12 год<sup>-1</sup>.

Результаты расчёта экономических показателей представлены в таблице.

Экономические показатели сравниваемых вариантов

| Поз. | Показатели                                  | Варианты |       |
|------|---|----------|-------|
|      |   | 1        | 2     |
| 1    | Капитальные затраты, тыс. руб.              | 11040    | 14311 |
| 2    | Годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб. | 18232    | 14238 |
| 3    | Приведённые затраты, тыс. руб.              | 19556    | 15955 |
| 4    | Годовой экономический эффект, тыс. руб.     | 3601     |       |

Как видно из таблицы, второй вариант по приведённым затратам более экономичен.

Полученные результаты показывают, что применение ТНУ с использованием в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии речной

воды один из возможных интересных вариантов для нагрева воды в системах горячего водоснабжения зданий.

*Библиографический список*

1. Васильев Г.П. Эффективность и перспектива использования тепловых насосов в городском хозяйстве Москвы // Энергосбережение. 2007. № 8.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

*Головин А.А., Куликова Е.А.*

*Уральский государственный университет путей сообщения  
algolovin1993@mail.ru, kulikova.elena@mail.ru*

Электроэнергия – необходимое средство существования и развития человечества, но ее производство оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую человека среду, так как используются в основном невозобновляемые источники энергии (нефть, газ и уголь). С одной стороны, быт и производственная деятельность немыслимы без тепло- и электроэнергии, а с другой – человек все большее внимание уделяет экономическому аспекту энергетики и требует экологически чистого производства энергии.

Большие надежды в мире возлагаются на альтернативные источники энергии, преимущество которых в их возобновимости и экологической чистоте. Например, лучистая энергия Солнца, поступающая на Землю, – самый мощный источник энергии, которым располагает человечество; поток солнечной энергии на земную поверхность эквивалентен  $1,2 \cdot 10^{14}$  тонн условного топлива.

Одна из проблем использования солнечной энергии заключается в том, что наибольшее количество ее поступает летом, а наибольшее потребление энергии происходит зимой. Интенсивность солнечного излучения (СИ) на поверхность Земли зависит от широты и долготы местности, ее географических и климатических особенностей, состояния атмосферы, высоты Солнца над горизонтом, размещения приемника СИ на Земле и по отношению к Солнцу и т. д.

В России поток СИ меняется в пределах от 800 до 1400 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Продолжительность солнечного сияния в России – в пределах от 1700 до 2000 ч/год, а максимальное значение на Земле – более 3600 ч/год.

Солнечная энергия на Земле используется с помощью солнечных энергетических установок, которые классифицируются: по виду преобразования солнечной энергии в другие виды энергии – теплоту или электричество; по концентрированию энергии – с концентраторами и без концентраторов; по технической сложности – простые (нагрев воды, сушилки, нагревательные печи, опреснители и т. п.) и сложные.

Последние можно подразделить на два подвида. Первый базируется в основном на системе преобразования СИ в тепло, которое далее чаще всего используется в обычных схемах тепловых электростанций. К ним относятся башенные солнечные электростанции, солнечные пруды, солнечные энергетические установки с параболоцилиндрическими концентраторами. Второй подвид

базируется на прямом преобразовании солнечного излучения в электроэнергию с помощью солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ).

Солнечные фотоэлектрические установки находят все более широкое распространение и применение как источники энергии для средних и малых автономных потребителей, а иногда и для больших солнечных электростанций, работающих в энергосистемах параллельно с традиционными ТЭС, ГЭС и АЭС. Конструктивно СФЭУ обычно состоит из солнечных батарей в виде плоских прямоугольных поверхностей, преобразующих энергию СИ в электрическую энергию. Электрический ток в фотоэлектрическом генераторе возникает в результате процессов, происходящих в фотоэлементе при попадании на него СИ. Наиболее эффективны фотоэлектрические генераторы, основанные на возбуждении электродвижущей силы на границе между проводником и светочувствительным полупроводником (например, кремнием) или между разнородными проводниками. Наибольшее распространение получили СФЭУ трех видов на основе кремния: монокристаллического, поликристаллического и аморфного. Сегодня исследуются двух- и трехслойные фотоэлементы, позволяющие использовать большую часть солнечного спектра. Для двухслойного фотоэлемента на опытных образцах получен коэффициент полезного действия (КПД) 30 %, а трехслойного – 35–40 %.

Рассмотрим использование СФЭУ в условиях Уральского федерального округа (УрФО) на примере фотоэлектрического модуля MSW120/60-12 (двусторонний, пиковая мощность –  $120 \text{ Вт} \pm 3 \text{ Вт}$  (дополнительно 60 Вт – с тыльной стороны – если она освещена), размеры – 1415х695х42 мм, вес – 11,5 кг).

СФЭУ наиболее рационально использовать в весенне-летний период, когда солнечная активность наиболее высока, для южных широт УрФО эффективный период продолжается с марта по сентябрь включительно.

Для обеспечения автономной работы в данный период нескольких люминесцентных или светодиодных ламп, телевизора, холодильника и ноутбука желательно установить несколько солнечных батарей суммарной мощностью около 500 Вт, или при финансовых возможностях – до 1000 Вт. Солнечные батареи обычно устанавливают на южную сторону крыши под углом 30–60 градусов к уровню горизонта (60 градусов обычно делают для всесезонной эксплуатации с учетом более низкого Солнца и избегания случаев скопления снега), обеспечив свободную циркуляцию воздуха под ними (для естественного охлаждения достаточно щели 3–5 см). Также понадобятся 4 аккумулятора по 190–220 А/ч (от автомобилей) и преобразователь напряжения (ПН) мощностью от 2 до 4,5 кВт с солнечным контроллером (их можно установить на чердаке).

Мощный преобразователь напряжения для солнечных батарей 500 или 1000 Вт необходим, так как, во-первых, энергия накапливается в аккумуляторах и может быть снята с них большими мощностями за более короткое время. Например, солнечные батареи 500 Вт летом в среднем, включая пасмурные дни, будут выдавать указанную мощность в течение 5,5 часов ежедневно. Соответственно, снимать с аккумуляторов можно, примерно, такую же мощность (минус небольшие потери на КПД) за такое же время, или 1 кВт в течение двух с половиной часов, или 2,5 кВт в течение часа, или даже 5 кВт в течение 30 ми-

нут. А если снимать 250 Вт, то хватит и на 10 часов. В реальных условиях мощные потребители включаются редко и, в среднем, запасенная в аккумуляторах солнечная энергия перекрывает потребности пользователя (при условии соблюдения вышеуказанных рекомендаций). Но, если пасмурная погода будет длиться более недели (а в пасмурные дни мощность солнечных батарей падает примерно в три раза), целесообразно иметь в запасе бензо- или дизель-генератор.

Во-вторых, избыточная мощность ПН нужна для обеспечения больших пусковых токов насосов, холодильников, кондиционеров, СВЧ-печей и т. п., которые могут в несколько раз превышать их номинальные токи.

Солнечная батарея в весенне-летний период выдает указанную в паспорте мощность в среднем 5,5 часов в день с учетом и пасмурных дней. Для системы с солнечными батареями 500 Вт суточный приход энергии – 2,75 кВт·ч/сут. С учетом потерь в аккумуляторной батарее (АКБ) (КПД 85 %) и преобразователе напряжения (КПД 90 %), а также потерь энергии на холостом ходу ПН, приход чистой мощности равен 2 кВт·ч/сут.

Суточный расход небольшого холодильника равен примерно  $W_x = 500$  Вт·ч/сут; цветного телевизора с диагональю 14 дюймов (90 Вт·ч),  $W_t = 90 \cdot 6 = 540$  Вт·ч/сут (при условии, что время его работы 6 часов в сутки); двух люминесцентных ламп (по 30 Вт), включенных по 6 часов в сутки,  $W_{\text{л}} = 60 \cdot 6 = 360$  Вт·ч/сут; ноутбука (50 Вт·ч)  $W_n = 50 \cdot 6 = 300$  Вт·ч/сут. Суммарная потребляемая мощность приборов – 1,7 кВт·ч/сут.

Таким образом, 5,5 часов электроприборы будут работать от энергии, вырабатываемой солнечной батареей, и в это же время будет заряжаться АКБ, с которого впоследствии можно снимать такое же количество энергии (2,75 кВт). То есть за сутки в распоряжении потребителя будет около 6 кВт электроэнергии (2 кВт энергии, полученной солнечной батареей в период дня с максимальной солнечной активностью, и около 4 кВт энергии, накопленной в АКБ).

Из вышеизложенного можно сделать вывод о возможном снижении (есть возможность снижения) мощности солнечных батарей до 410 Вт, или с солнечными батареями 500 Вт получить возможность подключения и других устройств – насосы, чайники, более мощный холодильник и т. д. Запас по мощности солнечных батарей также будет полезен при приближении к «пограничному» сезону (сентябрь – ноябрь). Для работы в пасмурные дни (обычно до пяти дней) должно быть установлено соответствующее количество аккумуляторов. Например, для солнечных батарей общей емкостью 500 Вт, необходимы аккумуляторы суммарной емкостью 800 А/ч. Заряжать такое количество аккумуляторов от сети позволит не каждый ПН (только мощностью от 3 кВт), а вот заряжать их от солнечных батарей позволит любой солнечный контроллер ПН. Важно только соблюдать максимальный ток заряда, обеспечиваемый стандартным контроллером (30 А) в соответствии с мощностью солнечных батарей.

# БИОРЕСУРСЫ АГРАРНОГО СЕКТОРА КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ АРГАЯШСКОЙ ПТИЦЕФАБРИКИ

Горбунова А.А., Нараева Р.Р.

Южно-Уральский государственный университет

Fukatsumu@mail.ru

Одним из перспективных направлений развития биоэнергетики в аграрном секторе Челябинской области является получение энергии на основе переработки биомассы.

Наиболее эффективным способом использования биомассы является ее преобразование в биотопливо, путем анаэробного сбраживания органических отходов сельского хозяйства для получения газообразного топлива – биогаза [1, 2].

На Аргаяшской птицефабрике ежедневно образуется  $m_n = 233$  тонны помета. Для эффективной работы БГУ необходимо добавить 50 % воды от удельного веса помета, что составит  $m_e = 0,5 \cdot 233 \approx 117$  тонн в сутки. С этим условием выбираем габариты резервуара предварительного хранения, учитывая, что субстрат находится в нем 1-2 дня. Получаем, что необходимо складировать  $m_o = (m_n + m_e) \cdot 2 = 700$  тонн. Так как субстрат близок к воде по своим свойствам, то можно принять:  $m_o = V_o = 700 \text{ м}^3$ . С учетом дальнейшего расширения производства стоит увеличить этот объем до  $V_{o,p} = 1\,000 \text{ м}^3$ . С экономической и конструкционной точки зрения эффективнее построить 2 резервуара брожения по  $V_p = 500 \text{ м}^3$ . Рассчитаем габариты резервуара. Для наилучшего протекания процесса метаногенеза выбираем соотношение высоты резервуара  $H_p$  к его диаметру  $d_p$  равным:  $H_p / d_p = 0,6$  [3] или получим

$$H_p = 0,6 d_p. \quad (1)$$

Объем резервуара (цилиндрической формы) рассчитывается по формуле:

$$V_p = \pi H_p d_p^2 / 4. \quad (2)$$

Из формулы (2) с учетом (1) и  $V_p = 500 \text{ м}^3$  определяем диаметр резервуара по формуле:

$$d_p = \sqrt[3]{4V_p / 0,6\pi}, \quad (3)$$

таким образом, диаметр резервуара составит  $d_p = 10$  метров, соответственно высота резервуара получится  $H_p = 6$  метров.

В самом ферментере субстрат должен провести 40 дней, отсюда его объем будет равен  $V_{o,\phi} = 40 \cdot 350 = 14\,000 \text{ м}^3$ . Но располагать имеющийся объем субстрата оптимальнее в 3 ферментерах по  $V_\phi = 4\,667 \text{ м}^3$  каждый. Здесь возьмем соотношение высоты ферментера  $H_\phi$  к его диаметру  $d_\phi$  равным  $H_\phi / d_\phi = 0,3$  (так как ферментеры достаточно велики и с конструкционной точки зрения следует уменьшить этот коэффициент), тогда

$$H_\phi = 0,3 \cdot d_\phi, \quad (4)$$

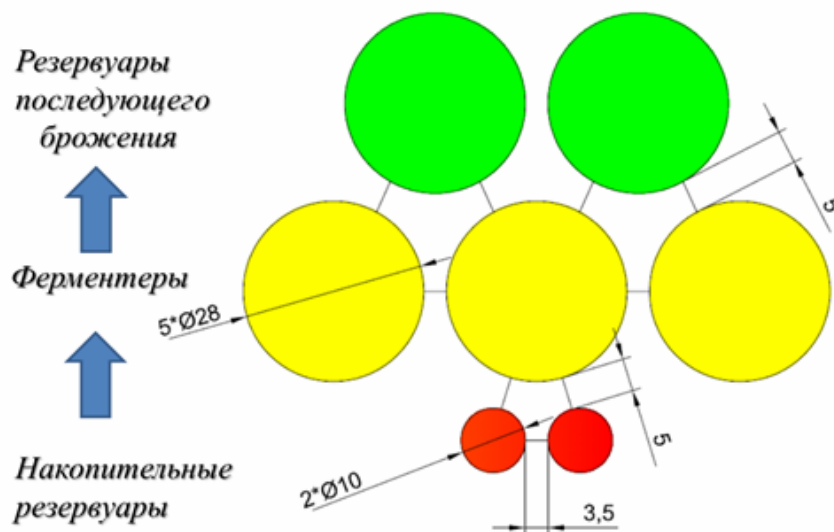
В соответствии с (3) и с учетом (4) и  $V_\phi = 4\,667 \text{ м}^3$  определяем диаметр ферментера:

$$d_\phi = \sqrt[3]{4V_\phi / 0,3\pi} = 28 \text{ м}, \quad (5)$$



соответственно высота ферментера составит  $H_{\phi} = 8$  метров.

Резервуар последующего брожения рассчитывается по аналогии. Размер его будет таким же, как у ферментера, но количество сократится до 2 резервуаров, т.к. уменьшится срок пребывания субстрата в резервуаре до 26 дней. В итоге, резервуары можно максимально компактно расположить на местности (рисунок).



План расположения резервуаров БГУ

#### Расчет выхода биогаза

Удельный выход биогаза с 1 тонны субстрата в сутки равен  $91 \text{ м}^3/\text{сут}$  [4]. Тогда в сутки выход биогаза составит:  $91 \cdot 233 = 21\,203 \text{ м}^3/\text{сут}$ , а в год:  $21\,203 \cdot 365 = 7\,739\,095 \text{ м}^3/\text{год}$ .

В качестве преобразовательного устройства используем когенерационную установку. Подбор ее параметров осуществляется по выходу биогаза. При установке Российского оборудования можно существенно сэкономить по сравнению с зарубежными аналогами. ООО «БАЗИС-ЭНЕРГО» выпускает когенерационные установки, оборудованные на работу с биогазом на основе установок фирмы «TEDOM». Для полного использования потенциала биогаза выбираем 2 установки Quanto C2000 S (P) с установленной электрической мощностью 2 010 кВт, тепловой мощностью 1,86 Гкал и потреблением  $12\,096 \text{ м}^3$  биогаза в сутки.

Птицефабрике необходимо для собственных нужд 3,9 МВт электрической энергии и 1 Гкал тепловой. Отсюда 2 когенерационные установки обеспечат выход 4 МВт электрической, 3,72 Гкал тепловой энергии и будут потреблять  $24\,192 \text{ м}^3$  биогаза в сутки. Так же необходимо учесть, что для обеспечения собственных нужд самой биогазовой установки необходимо примерно 7 % (5 % на модуль брожения и 2 % на когенерационную установку и потери на трансформаторе) от производимой мощности, т.е. для собственных нужд эта величина составит 281,4 кВт [5].

В ходе проведенных исследований и выполненных расчетов получены новые результаты: рассчитан суточный и годовой выход биогаза при анаэробном

брожении субстрата в БГУ, соответственно 21 203 м<sup>3</sup>/сут и 7 739 095 м<sup>3</sup>/год. Рассчитаны габаритные размеры резервуаров БГУ. С учетом вычисленного объема биогаза выбраны две когенерационные установки, обеспечивающие выход 4 МВт электрической и 3,72 Гкал тепловой энергии.

На основе полученных данных, по одной из крупнейших птицефабрик области, можно утверждать, что уменьшение экологической нагрузки действительно возможно осуществить за счет использования биогазовых установок. Переработка органических отходов аграрного сектора может предотвратить загрязнение плодородного слоя земли, проникновение загрязнённых стоков в грунтовые воды. Так же будет отсутствовать благоприятная среда для размножения вредителей. При постройке биогазовой установки, птицефабрика будет запитана от автономного источника питания, что исключит нежелательные потери тепла и электричества при передаче на дальние расстояния. Производство энергии на основе возобновляемых источников энергии экономит ископаемое топливо и материальные затраты на его приобретение и транспортировку.

#### *Библиографический список*

1. Соуфер С. Биомасса как источник энергии / Под ред. С. Соуфера, О. Заборски; пер. с англ. А.П. Чочиа, под ред. Я.Б. Черткова. М.: Мир, 1985. 375 с.
2. Роза А. да. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учеб. пособие / А. да Роза; пер. с англ. под ред. С.П. Малышенко, О.С. Попеля. М.-Долгопрудный: Издательский дом МЭИ: Интеллект, 2010. 702 с.
3. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии: учебное пособие / В.В. Елистратов. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. 224 с.
4. Эдер Б. Биогазовые установки: практическое пособие / Б. Эдер, Х. Шульц; пер. с нем. Zorg Biogas. 2008. URL: <http://www.zorgbiogas.com>.
5. Нараева Р.Р. Ресурсы древесной биомассы Челябинской области в развитии биоэнергетики / Р.Р. Нараева, А.А. Нараева // Наука ЮУрГУ: материалы 63-й науч. конф. Секции техн. наук. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. Т. 2. С. 215-218.

### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ «АРК-ВИЭ» И «VIZRO-RES» ДЛЯ РАСЧЕТА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ (ВИЭ) НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОГРАММ**

*Денисов К.С., Рахимова Н.М., Завьялов А.С., Велькин В.И.  
УрФУ, Таджикский технический госуниверситет*

В настоящее время за рубежом разработано около ста компьютерных программ для расчета параметров энергосистем на базе ВИЭ. Многие программы основаны на технологии 3D-проектирования для наилучшего выбора расположения установок на местности. Некоторые не требуют инсталляции и работают в режиме on-line. Примерно половина всех программ находится в свободном доступе, соответственно ими могут воспользоваться все желающие.

Ниже приведено описание некоторых наиболее функциональных зарубежных программ, находящихся в свободном доступе.

Программный пакет «RETScreen» – программа для анализа проектов с использованием ВИЭ, реализованная в Microsoft Excel [1]. Комплекс включает в себя базы данных продуктов, проектов, гидрологических и климатических ха-

рактических, данные для сравнительной оценки, а также подробное руководство пользователя. На рис. 1 представлено стартовое окно программы.

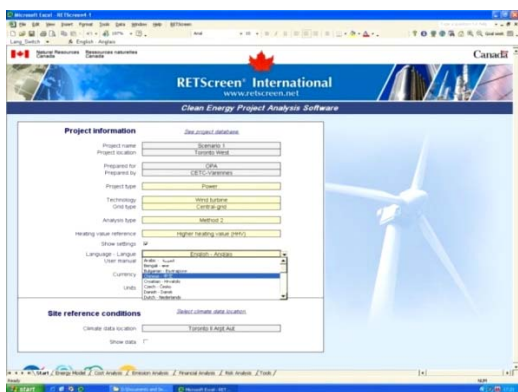


Рис. 1. Вид стартового окна «RETScreen 4»

Из недостатков программы «RETScreen» отметим два: она не использует временной модуль (не способна моделировать и просчитывать в динамике комплекс различных рискованных ситуаций), и отсутствует возможность комбинировать различные источники энергии в пределах одной системы.

Наиболее качественная программа расчета ВИЭ – компьютерная программа «HOMER», разработанная американской Национальной Лабораторией возобновляемых источников энергии (NREL), которая предназначена для расчета энергосистем малой мощности и сравнения различных способов выработки энергии [2]. «HOMER» моделирует физическое поведение энергосистемы и её стоимость за период эксплуатации, включая стоимость установки и затраты на дальнейшую эксплуатацию, позволяет сравнить множество различных вариантов конструкции энергосистемы, определить её технические и экономические показатели, помогает определить риски, связанные с изменчивостью погодных условий. Программа не является статичной, способна симулировать изменчивость погоды, например, учитывает вероятности штилей или, наоборот, штормовых ветров, снижение инсоляции вследствие облачности. «HOMER» позволяет выявить факторы, которые оказывают существенное влияние на проектирование и эксплуатацию системы. Общий вид окна программы представлен на рис. 2.

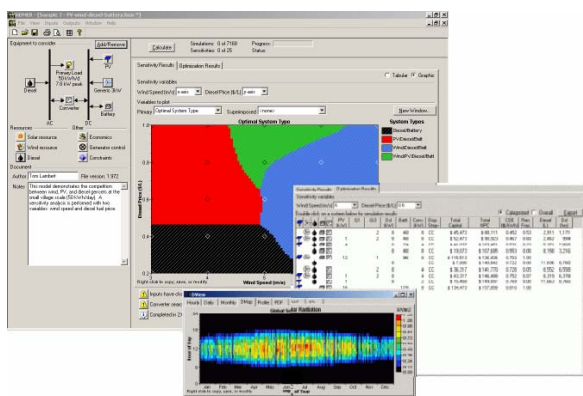


Рис. 2. Общий вид окна программы «HOMER»

Комплекс «HOMER» может рассчитать как автономную, так и соединенную с сетью энергосистему, производящую тепловую и электрическую энергию и содержащую любую комбинацию источников энергии, состоящую из ФЭП, ветрогенераторов, микро-ГЭС, биогазовых установок, ДВС, микротурбин, топливных элементов, АКБ и водородных источников.

Представляет интерес программа «Skelion» – плагин, который дает программе «Google SketchUp» возможность добавлять солнечные батареи в архитектурные проекты [3].

Плагин «Chronolux 1.0» предназначен для расчета продолжительности инсоляции и геометрического коэффициента естественной освещенности (этот коэффициент составляет процентное отношение площади светопропускания к

площади небосвода). Используя программу «SketchUp» с плагинами «Skelion» и «Chronolux» и дополнительно подключив программу «PVWatts» для расчета прихода солнечной радиации, можно создать проект солнечной энергосистемы. Однако указанный программный комплекс не решает вопросов технического характера, т.е. не производит расчет необходимого оборудования и мощностей системы, не оперирует другими источниками энергии, кроме солнечных панелей, не решает вопросы экономического характера (капитальные затраты, срок окупаемости, затраты на обслуживание и ремонт).

В УрФУ реализован проект по созданию отечественной программы для поиска оптимального состава оборудования кластера ВИЭ [4]. Программа полу-

| Система кластера                        | Расчетная мощность | Характеристики             | Среднее расчетное значение | Максимальный показатель для начала работы | Максимальный показатель для конца работы | Среднее значение |
|---|--------------------|----------------------------|----------------------------|---|--|------------------|
| Дизель-генератор (ДГ)                   | 0,210              | Потребляемая мощность, кВт | 1,2                        | Средняя стоимость, руб.                   | 25                                       | 30               |
| Ветроэлектрическая установка (ВЭУ)      | 0,110              | Длина ВЭУ, м               | 15                         | Средняя стоимость, руб.                   | 6  | 3,5              |
| Фотоэлектрический преобразователь (ФЭП) | 0,080              | Площадь ФЭП, м²            | 400                        | Средняя стоимость, руб.                   | 150                                      | 850              |
| Солнечный коллектор (СК)                | 0,200              | Площадь СК, м²             | 20                         | Средняя стоимость, руб.                   | 400                                      | 850              |
| Солнечный коллектор вакуумный (СК вкв)  |                    |                            |                            |   |  |                  |
| Микро-гидроэлектростанция-1 (МГЭС-1)    | 0,180              | Длина ВЭУ, м               | 15                         | Средняя стоимость, руб.                   | 6  | 3,5              |
| Микро-гидроэлектростанция-2 (МГЭС-2)    |                    |                            |                            |   |  |                  |
| Биогазовая установка (БГУ)              | 0,210              | Кол-во КРС, голов          | 100                        | Средняя стоимость, руб.                   | 0  | 0                |
| Тепловой насос (ТН)                     |                    |                            |                            |   |  |                  |

лучила название «Автоматизированный расчет кластера ВИЭ» (АРК-ВИЭ) и написана в среде пакета Microsoft Excel [5]. Окно меню программы «АРК-ВИЭ» представлено на рис. 3.

Рис. 3. Вид экранного меню программы поиска оптимального кластера ВИЭ «АРК-ВИЭ»

Для наглядного представления зависимости (риск-стоимость) при изменении состава оборудования была дополнительно разработана программа визуализации расчета оборудования ВИЭ «VIZPO-RES». Рабочее окно программы представлено на рис. 4.

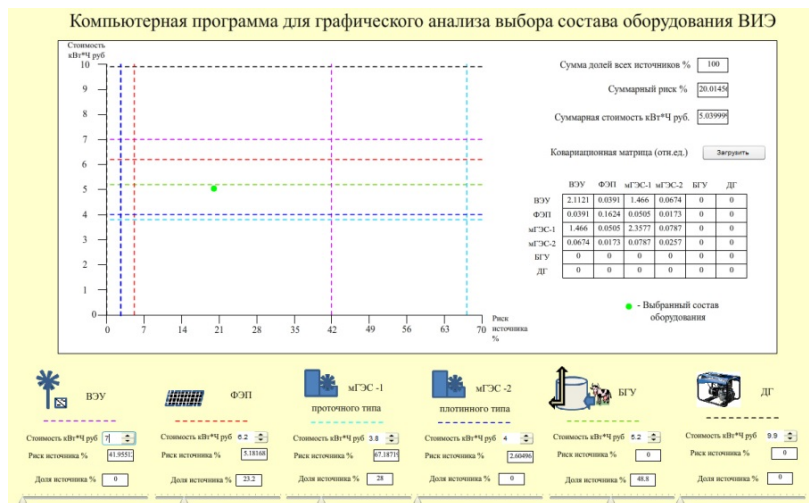


Рис. 4. Рабочее окно программы «VIZPO-RES»

Программа выполнена в среде «Adobe Flash Professional CS6» на языке программирования Action Script 3.0 и экспортирована в формат «exe» для удобства запуска на различных компьютерах. При расчете программа использует ко-

вариационную матрицу, формируемую «АРК-ВИЭ», и загружает её из файла формата «txt» для расчета риска энергообеспечения и мощностных долей оборудования с учетом конкретного географического района. При выходе параметров какого-либо источника за пределы числовых осей (стоимости и риска) значение предела числовой оси динамически изменяется.

Особенностью отечественных продуктов расчета ВИЭ, разработанных в УрФУ, является включение в модуль расчета стохастических характеристик и

детерминированных параметров конкретного региона, что влияет на точность определения оптимальных значений мощности и видов оборудования ВИЭ.

*Библиографический список*

1. Leng, G. J., Monarque, A., Graham, S., Higgins, S. & Cleghorn, H. RETScreen International: Results and Impacts 1996-2012. Minister of Natural Resources Canada. 2004. URL: <http://www.retscreen.net/ang/impact.php>.
2. Lambert, T., Gilman, P. & Lilienthal, P. Micropower system modeling with HOMER, in Integration of Alternative Sources of Energy // FA Farret and MG Simões. Wiley-IEEE Press, 2006. P. 379 – 418.
3. Skelion: A solar energy design plugin for SketchUp. December, 2011. URL: <http://skelion.com/>
4. Велькин В.И. Оптимизация выбора энергообеспечения на основе кластерного подхода в использовании возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 2. С. 67-71.
5. Велькин В.И., Логинов М.И., Чернобай Е.В. Программа Автоматизированного расчета кластера ВИЭ «АРК-ВИЭ»: Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013613097. Зарегистрировано 25 марта 2013 г.

## **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Димитриев О. Г.*

*Тюменский государственный архитектурно-строительный университет  
oleja\_04\_05\_1991@mail.ru*

В настоящее время мировая энергетика развивается интенсивными темпами. Сокращение запасов органического топлива вследствие его добычи для удовлетворения потребностей различных отраслей промышленности, воздействие продуктов сгорания органического топлива на окружающую среду, растущая стоимость топлива – все эти факторы являются причиной развития альтернативной энергетики.

Все прогрессивные страны мира серьёзно заняты решением проблем энергосбережения и сокращения выбросов, активно изучая нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Поскольку Россия – один из мировых лидеров по добыче органического топлива, процесс внедрения культуры применения альтернативных источников энергии происходит более медленно. В то время как Европейские страны стремятся к 2020 году достигнуть 20 % альтернативной мощности в энергосистеме, а Германия в настоящий момент сумела добиться более 25 %, мощность от альтернативных источников энергии в России менее 1 % (согласно материалам II международного форума ENES – 2013). Однако политика России ориентирована на большее использование энергии ветра и Солнца, и её аккумулятирование. Энергия ветра наиболее перспективна в северных и восточных прибрежных районах, где прокладывать линии электропередач нецелесообразно.

Для преобразования энергии ветра в электроэнергию используются ВЭУ (ветроэнергетические установки) или ветрогенераторы. Основными преимуществами ветрогенераторов являются: экологическая безопасность, низкий уровень шума – 35 дБ [1], возможность автономности потребителя, ВЭУ малой мощности не требуют дежурного персонала. Недостатки – непостоянство ско-

рости ветра, высокая стоимость ветроустановки, низкий коэффициент использования установленной мощности, эстетика местности [2].

Целесообразность установки ветрогенератора определяется типом ветроколеса, необходимой мощностью предприятия и местом установки. В условиях России наиболее перспективными являются ортогональные ветрогенераторы, так как они способны вырабатывать электроэнергию при любом направлении ветра и имеют низкую скорость старта.

Сравним 3 предприятия различной мощности – 10, 100, 1000 кВт. Данные внесены в таблицу 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности применения ВЭУ

| Показатель                  | Предприятие 1 |       |      | Предприятие 2 |        |       | Предприятие 3 |       |       |
|-----------------------------|---------------|-------|------|---------------|--------|-------|---------------|-------|-------|
| $N_{тр}$ , кВт              | 10            |       |      | 100           |        |       | 1000          |       |       |
| $N_i$ , кВт                 | 1             | 3     | 20   | 1             | 3      | 20    | 1             | 3     | 20    |
| n, шт.                      | 41            | 14    | 3    | 401           | 134    | 21    | 4001          | 1334  | 201   |
| $C_i$ , тыс.руб.            | 100           | 225   | 890  | 100           | 225    | 890   | 100           | 225   | 890   |
| $S_{сумм}$ , м <sup>2</sup> | 1860          | 992   | 294  | 18195         | 9301   | 2061  | 181537        | 92385 | 19723 |
| $Z_o$ , млн руб.            | 5,92          | 5,045 | 4,49 | 41,92         | 32,045 | 20,51 | 402           | 302   | 181   |
| $Z_3$ , млн руб.            | 0,93          | 0,5   | 0,15 | 9,1           | 4,65   | 1,03  | 90,77         | 46,19 | 9,86  |
| $T_{пр}$ , лет              | 33            | 26,6  | 22,3 | 24,5          | 17,6   | 10,3  | 23,7          | 16,78 | 9,2   |
| $T$ , лет                   | 43            | 34,6  | 29   | 31,9          | 22,9   | 13,4  | 30,8          | 21,7  | 11,9  |

где  $N_{тр}$  – требуемая мощность, кВт;  $N_i$  – мощность одного ветрогенератора, кВт;  $N$  – необходимое количество ветроагрегатов, шт.

$$n = \frac{N_{тр}}{K_{пер} \cdot N_i} + 1, \quad (1)$$

где  $K_{пер}$  – коэффициент среднегодовой скорости ветра, зависимый от региона и номинальной скорости ветрогенератора (0,25);  $C_i$  – стоимость ветроагрегата, тыс.р.[4, 5];  $S_{сумм}$  – необходимая площадь для ВЭУ, м<sup>2</sup>, определяется по габаритам установки;  $Z_o$  – затраты на приобретение оборудования, млн руб.;  $Z_3$  – затраты на приобретение земли, млн.руб.;

$$T_{пр} = \frac{(Z_o + Z_3)}{I_t}, \quad (2)$$

где  $Z_o$  – затраты на приобретение оборудования, руб.;  $Z_3$  – затраты на покупку земли, руб.;  $I_t$  – сумма платежей за год на оплату энергоснабжения по тарифам на конец 2013 года, руб.[3];

$$T = \frac{(Z_o K_3 + Z_3)}{I_t}, \quad (3)$$

где  $K_3$  – коэффициент затрат на монтаж оборудования.

Из табл. 1 видно, что при использовании ВЭУ с увеличением мощности предприятия происходит сокращение срока окупаемости, однако вместе с этим растут начальные капиталовложения, увеличивается площадь, необходимая для установки ветроагрегатов и их число. Оптимальным вариантом является снабжение энергией ветра предприятия 2, а именно использование ВЭУ - 20 кВт, при мощности предприятия 100 кВт. Однако экономически оправданным действием будет применение ВЭУ большей мощности на более крупных предпри-



ятиях, так как удельная стоимость 1 кВт электроэнергии снижается с увеличением мощности ветрогенератора.

Для обеспечения бесперебойного энергоснабжения необходимо использовать аккумуляторы с емкостью, необходимой для поддержания работы предприятия в безветренный период. Данное мероприятие является капиталоемким, в связи с чем, выгоднее использовать автоматическую систему управления с вводом резерва – централизованного источника, для сглаживания переключений использовать аккумуляторы. Ввиду распространенности и относительной дешевизны экономически выгодны аккумуляторы 12 вольт, которые можно формировать в блоки.

Таблица 2

Расчет аккумуляторов для предприятий различной мощности

| Описание                           | Обозначение          | Предприятия |      |       |
|------------------------------------|----------------------|-------------|------|-------|
|                                    |                      | 1           | 2    | 3     |
| Требуемое количество аккумуляторов | $n_{ак}$ , шт        | 62,5        | 625  | 6250  |
| Требуемая мощность                 | $N$ , кВА            | 12,5        | 125  | 1250  |
| Необходимый ток аккумуляторов      | $I_{ак}$ , кА        | 1           | 10,4 | 104,2 |
| Напряжение аккумулятора            | $U_{акк}$ , В        | 12          | 12   | 12    |
| Емкость аккумулятора               | $Q_{ак}$ , кВА       | 0,2         | 0,2  | 0,2   |
| Стоимость аккумулятора             | $C_{акк}$ , тыс.руб. | 15          | 15   | 15    |
| Суммарная емкость аккумуляторов    | $Q$ , кВА            | 12,5        | 125  | 1250  |
| Коэффициент запаса мощности        | $K_{зап}$            | 1           | 1    | 1     |
| Время запаса                       | $T_{зап}$ , ч        | 24          | 24   | 24    |
| Стоимость аккумуляторов            | $З_a$ , млн.руб.     | 0,94        | 9,38 | 93,75 |

Из табл. 2 видно, что капиталовложения на аккумуляторы пропорциональны мощности предприятия. К тому же, не актуально устанавливать огромное количество аккумуляторов, ввиду сложности монтажа и обслуживания, поэтому в современной энергетике важным вопросом является создание аккумуляторов, малых по габаритам, но с большой емкостью.

Таким образом, применение ВЭУ целесообразно при большой мощности предприятия и соразмерной мощности ветроустановки, поэтому производители ветрогенераторов должны увеличивать мощность своих продуктов. Только в этом случае более крупные и энергоемкие предприятия смогут экономически обоснованно приобретать ВЭУ, повышая уровень развития альтернативной энергетики не только в России, но и во всём мире.

#### Библиографический список

1. Соловьев А., Дегтярев К. Ветреная ветряная энергетика / Лозовская Е.Л. // Наука и жизнь. 2013. № 7. С. 42-49.
2. Исследование воздействия работы ветрогенераторов. Воздействие на живую природу [Электронный ресурс] URL: <http://vetrodvig.ru/?p=4543>.
3. Тарифы, правовые документы, справки. Тарифы. [Электронный ресурс] URL: <http://www.newtariffs.ru>.
4. Ветрогенератор «Falcon Euro» – 20 кВт (вертикально-осевой, вертикальный): продажа, цена в Омске. Ветрогенераторы от "Энергетическая компания «Энергия Дисижн»" – 8801707 [Электронный ресурс] URL: <http://e-ds.ru/p8801707-vetrogenerator-falcon-euro.html>.
5. Семейство ветроэнергетических установок «АЭРГОН» и гибридные комплексы «АЭРГОН-Д» и «АЭРГОН-С». СПб., 2013. 24 с.

## СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ

Доскенов А.Х., Шерьязов С.К.

Челябинская государственная агроинженерная академия

sakenu@yandex.ru

В рамках разрабатываемого проекта Федерального закона «О теплоснабжении», предусматриваются меры по развитию ВИЭ в сфере теплоснабжения. При этом одним из основных направлений использования ВИЭ является система солнечного теплоснабжения. Для эффективного энергоснабжения необходимо разработать комбинированную систему [1].

Анализ существующих схем теплоснабжения с использованием солнечных коллекторов (СК) позволил выделить принципиальную схему. Она состоит, как правило, из солнечных коллекторов, бака-аккумулятора и потребителя (рис. 1).

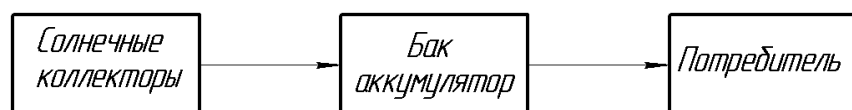


Рис. 1. Принципиальная схема гелиотеплоснабжения

Как известно, такая схема гелиотеплоснабжения имеет определенные недостатки, связанные с периодичностью поступления солнечной радиации, как внутри года, так и в течение суток, и несоответствие максимума потребной тепловой энергии с уровнем поступающей солнечной энергии (рис. 2). Выровнять эти режимы возможно за счет аккумуляции тепловой энергии. При этом для аккумуляции энергии в течение года требуется очень большая емкость, что ведет к высоким материальным затратам.

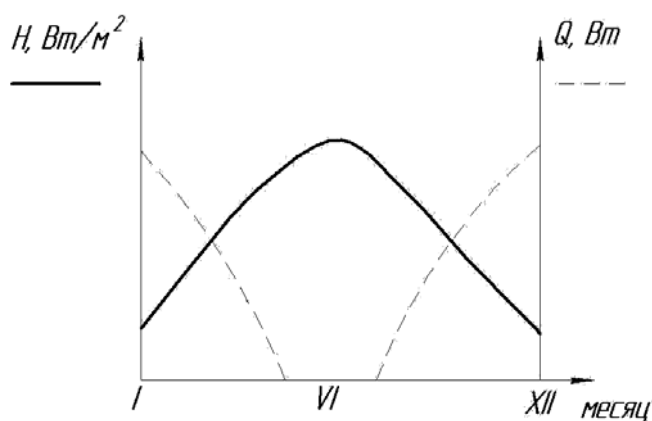


Рис. 2. Распределение солнечного излучения  $H$  и потребной тепловой мощности  $Q$  в течение года

теплонасосную установку (ТНУ) [2].

Анализ существующих схем совместной работы СК и ТНУ позволил выделить несколько принципиальных схем совместной работы.

**Параллельное включение** солнечных коллекторов и теплового насоса (рис. 3). В данном случае имеет место выработка недостающей тепловой энергии в холодный период года.



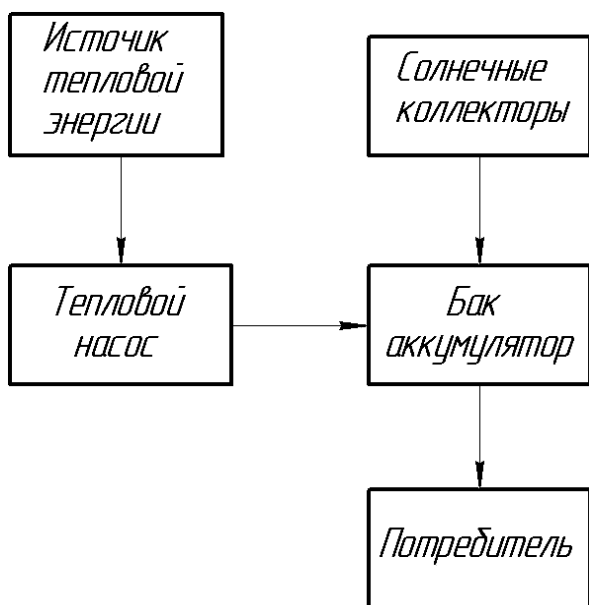


Рис. 3. Принципиальная схема параллельного включения

Основным достоинством данной схемы является высокая надежность теплоснабжения. Недостатком являются высокие материальные затраты, в том числе и на источник тепловой энергии для ТНУ. Также имеет место неблагоприятные для СК температурные режимы (высокая температура теплоносителя на входе в солнечный коллектор), что снижает его КПД.

### Последовательное включение.

Возможны несколько вариантов включения солнечных коллекторов и теплонасосной установки (рис. 4). При данных схемах надежность теплоснабжения ниже, чем при параллельной работе СК и ТНУ.

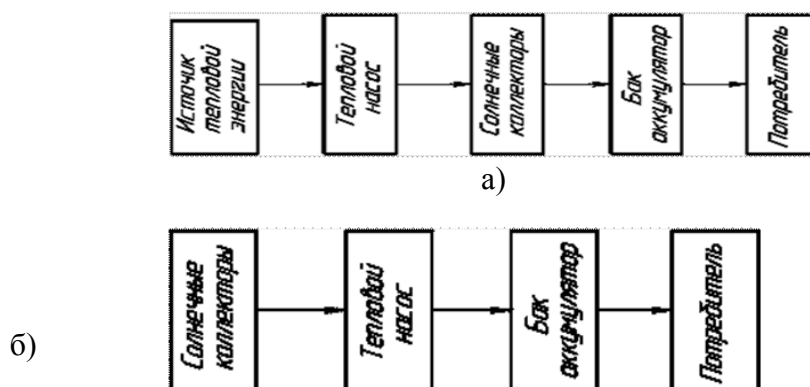


Рис. 4. Принципиальные схемы последовательного включения СК и ТНУ, с источником тепловой энергии для ТНУ (а) и без него (б)

Возможным плюсом данных схем является их каскадность, благодаря которой может улучшиться качество тепловой энергии. Также положительным является то, что схемы без низкопотенциального источника не требуют затрат на сооружение скважины или грунтовых теплообменников и т.п.

**Смешанная схема включения.** В данном случае имеет место повышение эффективности работы системы гелиотеплоснабжения при помощи теплового насоса (рис. 5).

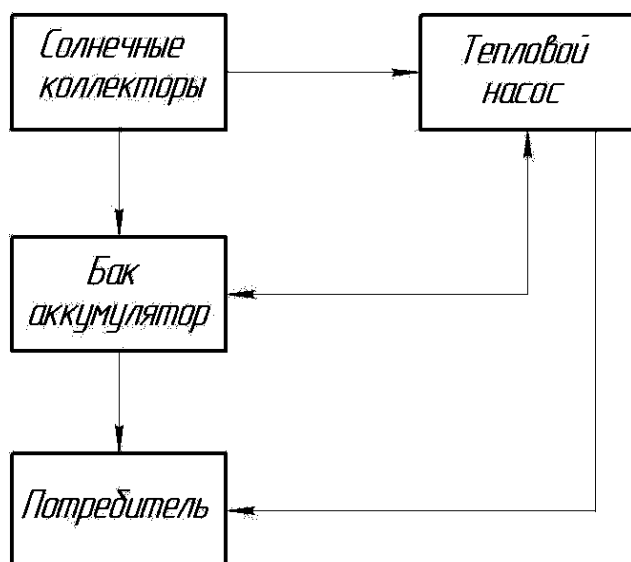


Рис. 5. Принципиальная схема смешанного включения СК и ТНУ

Данная схема может иметь огромное количество различных конфигураций и включает в себя достоинства и недостатки принципиальных схем параллельного и последовательного включения. Возможность использования данной схемы зависит параметров системы солнечного теплоснабжения.

Таким образом, для теплоснабжения потребителей в условиях Южного Урала предлагается комбинированная система, включающая солнечные установки и тепловые насосы. При этом возможны различные схемы включения данных установок. Для эффективного теплоснабжения необходимо обосновать схему включения и определить ее параметры.

#### *Библиографический список*

1. Шерьязов С.К. Научные основы рационального сочетания традиционных и возобновляемых источников в системе энергоснабжения // Избранные труды Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки «Экология и природопользование». М.: РАН, 2012. Т. 3. С. 74-78.
2. Шерьязов С.К., Доскенов А.Х. Особенности системы солнечного теплоснабжения в условиях Южного Урала // Актуальные проблемы транспорта и энергетики и пути инновационного поиска решения: Материалы международной научно-практической конференции. Астана: ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, 2013. С. 330-333.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА БИОТОПЛИВЕ**

*Жуков А.В.  
УрФУ*

В лесном хозяйстве страны существует проблема утилизации отходов. Только в Свердловской области, для примера, ежегодно образуется более 1000 тыс. м<sup>3</sup> отходов лесопильных производств. Большая часть их вывозится на незаконные свалки. Сейчас бизнес не заинтересован в том, чтобы организовать переработку отходов на месте, а вывозить их из-за серьезных транспортных расходов невыгодно. Особенно это касается мелких лесопилок. С другой стороны, предприятия лесоперерабатывающей отрасли испытывают дефицит электрической мощности при расширении производства.

Весьма значительна в малом электроснабжении задача обеспечения энергией удалённых мест проживания. Когда, например, за 10 км тянется ЛЭП для энергообеспечения 50-100 человек (проблема обслуживания линии, капиталъ-

ные затраты). Ветряные и солнечные источники альтернативной энергии далеко не всегда годятся в регионах нашей страны по климатическим условиям (в частности, Свердловская область).

Идея: использование отходов деревоперерабатывающей промышленности для получения тепловой и электрической энергии.

В настоящее время, учитывая появление новых материалов, а также элементов систем автоматизации процессов горения, имеется возможность управлять процессом горения и составом генераторного газа, что позволяет снизить требования к подготовке первичного топлива. Таким топливом могут быть деревянные бруски, опил, щепа, кора.

Основная новизна проекта, в отличие от существующих образцов – это оснащение установки системой управления подачей воздуха и пара с обратной связью по химическому составу генераторного газа, его расходу и температуре зоны горения. Система управления используется для стабилизации процесса газификации, обеспечения требуемого химического состава генераторного газа, защиты котла от перегрева, а также система управления позволяет снизить требования к используемому топливу (увеличение диапазона допустимой влажности топлива с 0-14 % до 0-40 %).

Установка представляет собой котёл, в котором происходит газификация твердого топлива. На входе в котёл имеются впускные патрубки для подачи пара и воздуха (для гибкой регулировки процесса газификации). На выходе из котла – генераторный газ, так называемый синтез-газ из нескольких видов составляющих. Он же поступает в двигатель внутреннего сгорания. Двигатель, в свою очередь, приводит во вращение электрический генератор. Установка оснащается газоанализатором с каналами измерения CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>; расходомером и датчиками температуры газа и зоны горения. Контроллер формирует управляющие сигналы для систем подачи пара/кислорода в активную зону горения.

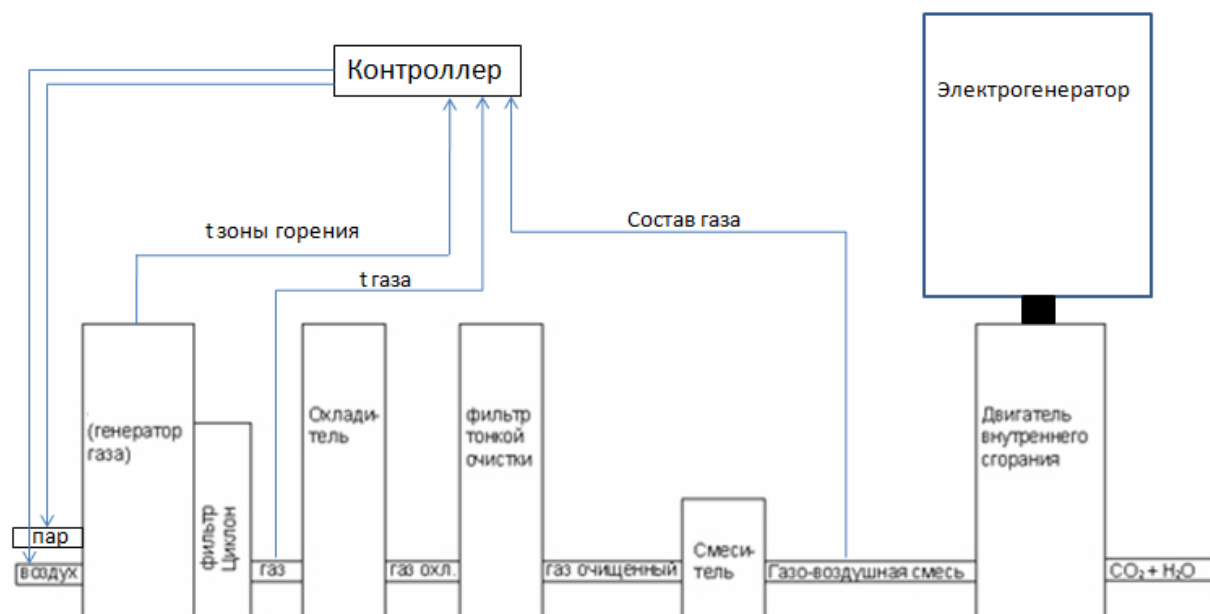
Сам процесс называется пиролизом, т.е. термическое разложение органических соединений. Контроль температуры газа необходим, т.к. при определённых температурах начинаются реакции восстановления. Реакции восстановления смещают содержание «ненужного газа» CO<sub>2</sub> в сторону увеличения, а горючего газа CO – уменьшения. Более того, сам котёл может перегреваться и выходить из строя, что крайне нежелательно. Снижение же температуры газификации топлива ведёт к нестабильной выработке мощности.

Новизна предлагаемого решения заключается в использовании особого алгоритма, реализованного в системе управления процессом газификации. Алгоритм управления в ПЛК реализуется, используя современные пакеты для моделирования и оптимизации системы управления. Управление осуществляется через обратные связи на установке. ПЛК (контроллер) по составу выходного газа от газоанализатора определяет параметры процесса и в зависимости от этого выдаёт управляющее воздействие на окислитель (пароводяная смесь, кислород). Также на подачу окислителя влияют температуры с зоны горения, выходного газа и расход газа.

Управление подачей воздуха и пара осуществляется в функции химического состава генераторного газа, его расхода и температуры зоны горения.

Схема установки в целом:

Газогенератор – циклон – фильтр тонкой очистки – охладитель – ДВС – электрогенератор



Принципиальная схема установки

Планируется разработать и создавать серийные газогенераторные установки малой и средней мощности (от 10 до 200 кВт) для производства электроэнергии и тепловой энергии в лесоперерабатывающих и частных хозяйствах.

Данная разработка избавляет лесоперерабатывающий комплекс от проблемы отходов, которые являются причиной пожаров и нарушают экосистему лесов. С другой стороны, покрывает дефицит мощности при расширениях производства или даёт возможность предприятиям продавать энергию «на сторону».

Следует также отметить утверждённый Правительством РФ «План мероприятий по созданию благоприятных условий для использования возобновляемых древесных источников для производства тепловой и электрической энергии», предусматривающий меры по стимулированию потребления неликвидных древесных материалов (низкосортной древесины, отходов заготовки, отходов переработки).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КООРДИНАТОРА МОЩНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЭУ

*Загафуранова Ю.М., Акифьева Н.Н.  
УрФУ, e-mail: Zagarulya13@mail.ru*

Ветроэнергетика с ее современным техническим оснащением является вполне сложившимся направлением энергетики. Ветроэнергетические установки (ВЭУ) мощностью от нескольких киловатт до мегаватт производятся в Европе, США и других частях мира. Большая часть этих установок используется для производства электроэнергии – как в единой энергосистеме, так и в автономных режимах.

Применение ветроустановок малой мощности, например, в отдаленных деревнях и фермерских хозяйствах, где прокладка кабеля нецелесообразна и чрезвычайно дорога. Или же использование ветроустановок как источников энергии для освещения переходных опор ЛЭП. Особо важным является эффективное управление ВЭУ.

Целью работы является моделирование координатора мощности для ВЭУ, работающей в составе автономной системы электроснабжения. Координатор мощности обеспечивает оптимальный отбор мощности, вырабатываемой ветромодулем при имеющейся силе ветра.

Автономная система включает: синхронную машину, дизель-генератор, асинхронный генератор, нагрузку, вторичную нагрузку, ВЭУ. В свою очередь, ВЭУ состоит из следующих основных элементов:

- силовая установка (ветроротор, ветроколесо), преобразующая энергию (вращения вала);
- электрогенератор, преобразующий механическую энергию в электрическую;
- аппаратура силовой электроники и управления (АСЭУ) ВЭУ, отвечающая за безопасность и эффективность установки в целом, а также за качество электроэнергии, отпускаемой потребителю;
- рамная часть ВЭУ, объединяющая в едином конструктивном решении силовую установку и электрогенератор и обеспечивающая ориентацию ВЭУ на ветер;
- основание.

Моделирование процесса работы ВЭУ в составе автономной системы электроснабжения воспроизводится с помощью программного пакета MATLAB. MATLAB – это высокопроизводительный язык для технических расчетов. Он включает в себя вычисления, визуализацию и программирование в удобной среде, где задачи и решения выражаются в форме, близкой к математической. Типичное использование MATLAB – это математические вычисления, создание алгоритмов, моделирование, анализ данных, исследования и визуализация, научная и инженерная графика, разработка приложений, включая создание графического интерфейса.

Расчетная схема модели приведена на рис. 1.

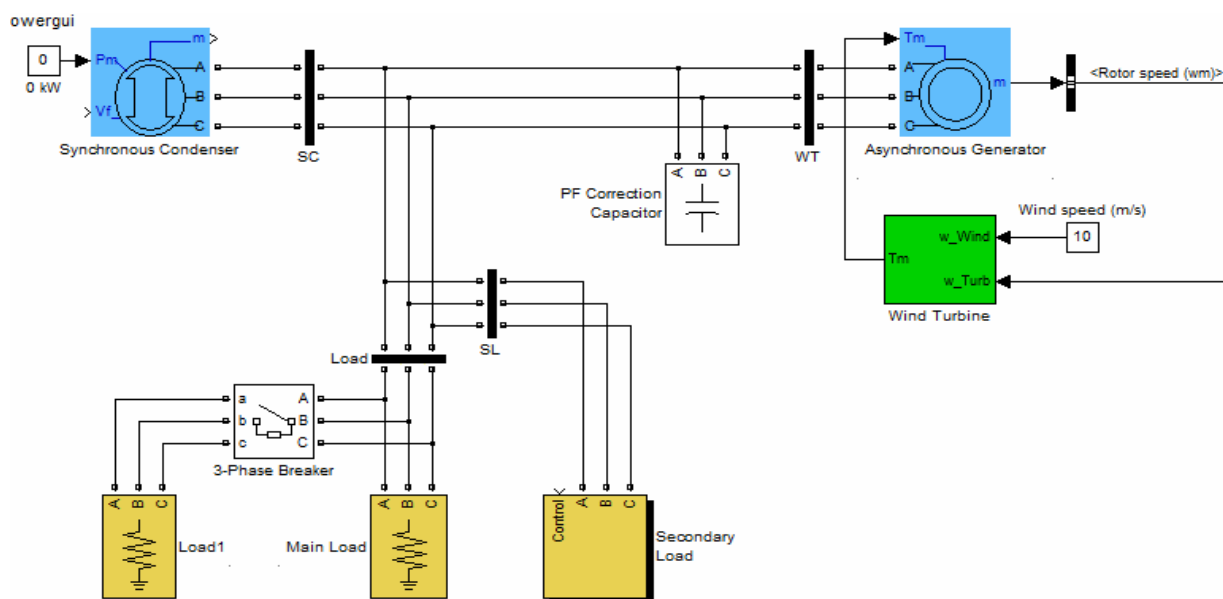


Рис. 1. Расчетная схема модели

Частота в энергосистеме является важным показателем сбалансированности мощности источника и нагрузки, а ее регулировка – один из важных моментов в процессе работы системы. Частота отображает отношение мощности генератора (выработки электроэнергии) к мощности нагрузки потребителей. Поэтому различные режимы, прежде всего, описываются графиками переходных процессов частоты. Далее приведены графики изменения частоты и режимы работы вторичной нагрузки и дизель-генератора (рис. 2-4).

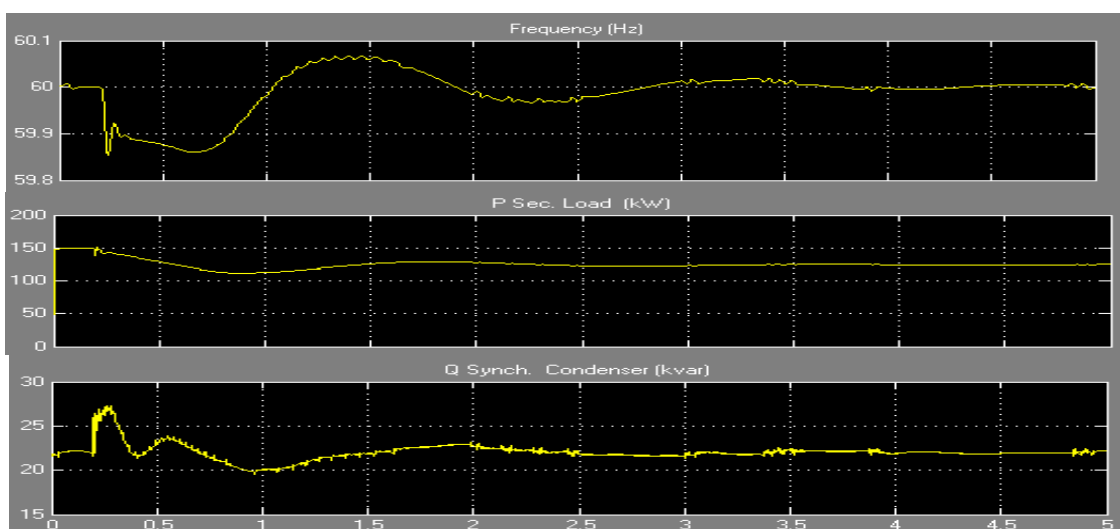


Рис. 2. Работа системы при скорости ветра 10 м/с  
(частота, мощность вторичной нагрузки, дизель-генератор)

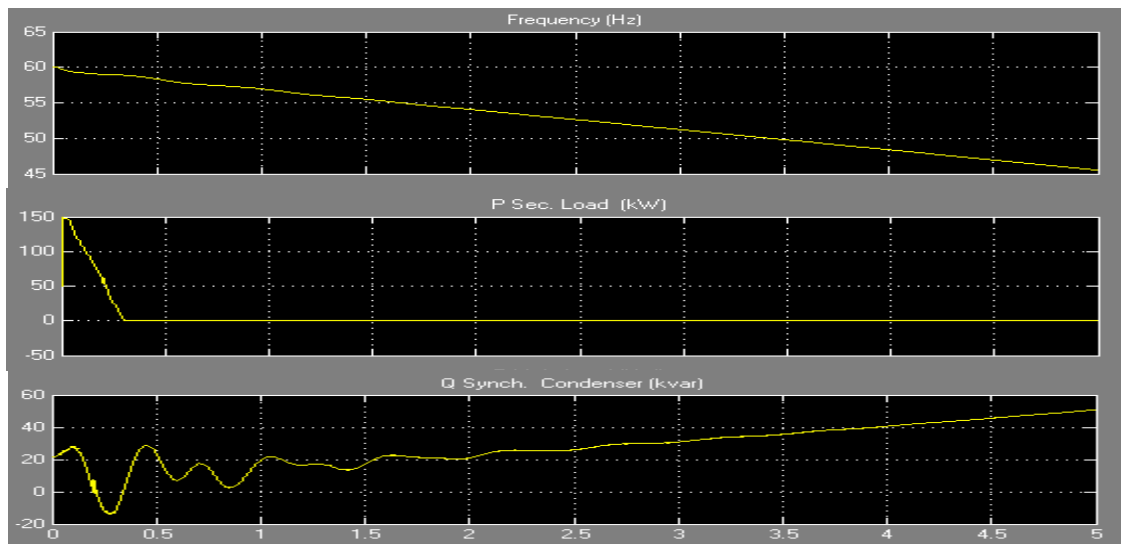


Рис. 3. Работа системы при скорости ветра 5 м/ с  
(частота, мощность вторичной нагрузки, дизель-генератор)

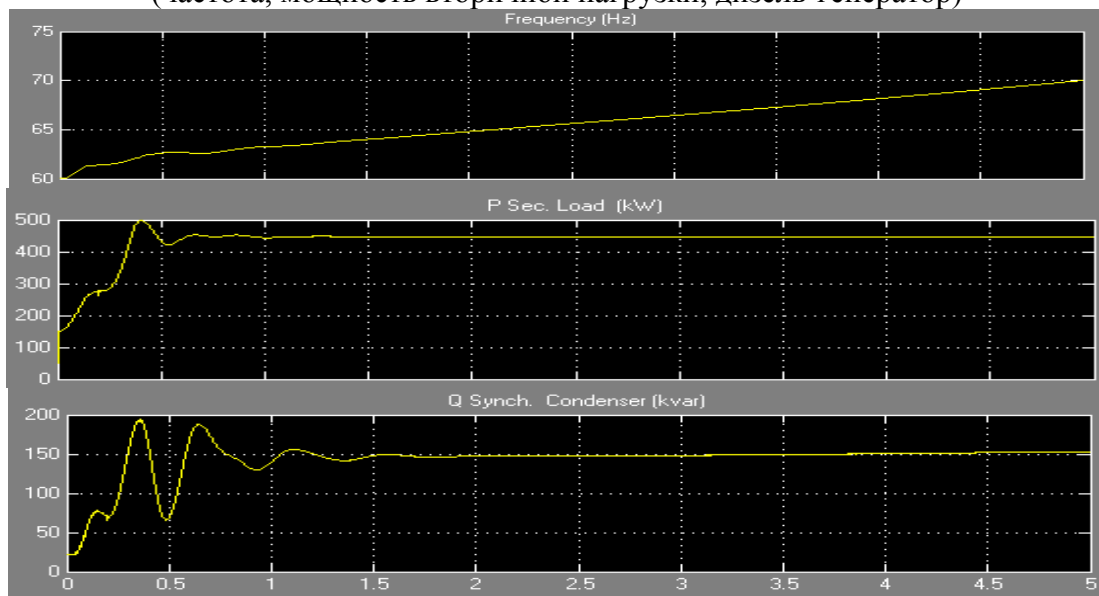


Рис. 4. Работа системы при скорости ветра 15 м/ с  
(частота, мощность вторичной нагрузки, дизель-генератор)

Из графиков видно, что переходный процесс регулирования частоты происходит по-разному. При номинальной скорости ветра 10 м/с при включении ВЭУ в работу происходит падение частоты до 59,8 Гц, затем более равномерный скачок до 60,1 Гц и постепенное выравнивание частоты, плавно подключается в систему вторичная нагрузка и потребляет энергию на постоянном уровне. При скорости ветра 5 м/с частота постоянно убывает, мощности не хватает, из чего следует падение напряжения и невозможность выравнивания частоты. Дизель-генератор начинает вырабатывать больше энергии, вторичная нагрузка ничего не потребляет. При скорости ветра 15 м/с частота превышает 60 Гц и постепенно возрастает, вторичная нагрузка начинает потреблять больше энергии, а дизель-генератор после скачков работает в режиме синхронного компенсатора.

Из анализа графиков следует, что для выравнивания частота системы автономного электроснабжения необходим координатор мощности, который нуж-

ный момент отключал или включал в систему дизель-генератор в режиме источника или асинхронного компенсатора, а также включал или выключал вторичную нагрузку.

Можно также рассмотреть подключение в систему аккумуляторной батареи для накапливания энергии при высоких скоростях ветра.

Это является задачей дальнейшего исследования.

#### *Библиографический список*

1. Янсон Р.А. Ветроустановки: Учеб. пособие по курсам «Ветроэнергетика», «Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии», «Введение в специальность» / Под ред. М. И. Осипова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 36 с.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ Г. УЛЬЯНОВСКА**

*Игнатъев С.В., Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет  
fester-92@mail.ru; al.rtisheva@mail.ru*

Вопросы энергосбережения и методов экологичного производства энергии приобретают все большую актуальность. С каждым годом количество развивающихся предприятий по производству и продаже солнечных элементов увеличивается (ООО «Хевел» г. Новочебоксарск; «Телеком-СТВ» г. Зеленоград; «Солнечный ветер» г. Краснодар; ОАО НПП «Квант» г. Москва и др.). Исследование потенциала гелиоэнергетики является довольно перспективным научно-техническим направлением.

Рассмотрим в качестве примера исследования энергетического потенциала использования солнечных элементов г. Ульяновск.

Ульяновская область расположена на юго-востоке Европейской части России, в Среднем Поволжье. Климат умеренно континентальный. Средняя температура января  $-13^{\circ}\text{C}$ , июля  $+20^{\circ}\text{C}$ . График термического режима местности представлен на рис. 1 [1].

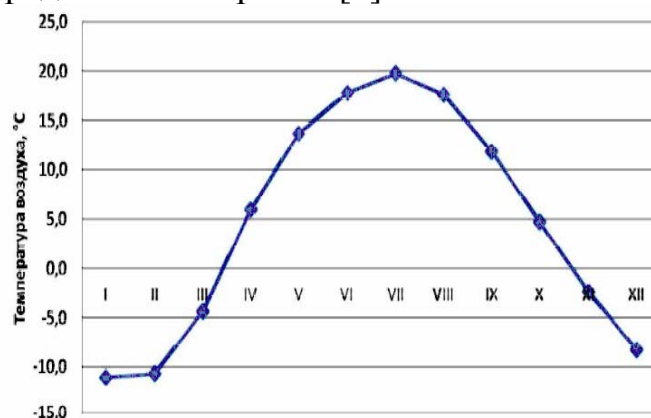


Рис. 1. Годовой ход температуры воздуха на территории области за 1961-2010 гг.

Переход от сезона к сезону происходит постепенно. Начало следующего сезона в значительной степени зависит от характера предыдущего. При переходе от одного сезона к другому в течение нескольких дней происходят изменения в температурном режиме, характере подстилающей поверхности (сход снежного покрова, образование растительности и т.д.), величине поглощаемой солнечной радиации [1].



Анализ данных характеристик показывает, что территория Ульяновской области имеет благоприятные условия для использования солнечных элементов.

Образцом для исследования стала панель монокристаллического типа CHN200-72M производства *ChinalandSolarEnergy*.

Солнечное излучение (солнечная радиация) – это поток энергии, равномерно испускаемый Солнцем во всех направлениях. Поток, достигая Земли, улавливают элементы солнечных элементов, преобразовывая их в электрический ток.

Поток солнечного излучения на Землю неравномерен. Причиной тому является различный угол падения, время года (т. е. положение Земли относительно Солнца) и т. д.

Панель CHN200-72M преобразует 18,31 % солнечного излучения. Результаты численного исследования за январь для г. Ульяновска, представлены на рис. 2-3.

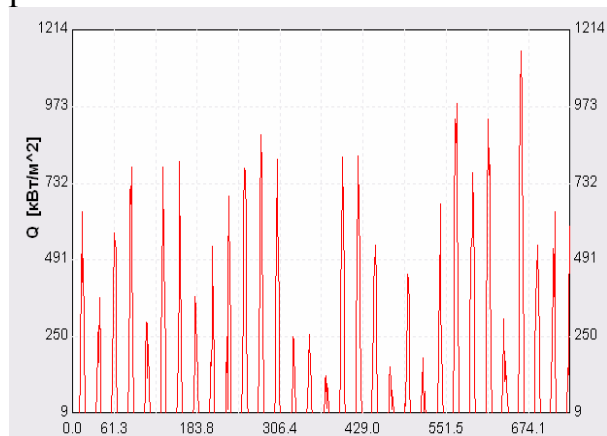


Рис. 2. Солнечная радиация (январь, г. Ульяновск)

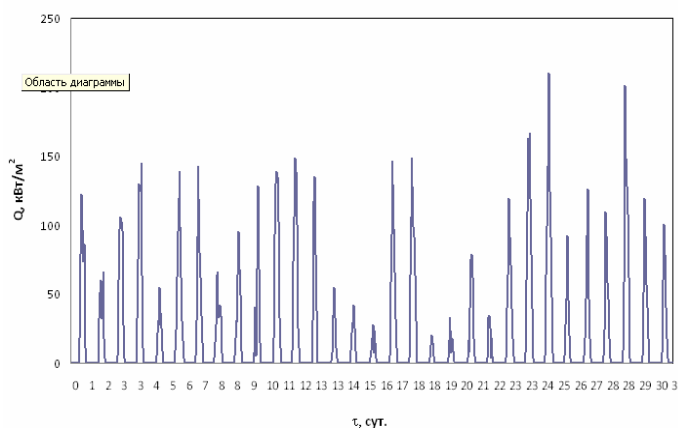


Рис. 3. Вырабатываемая панелью CHN200-72M электрическая энергия (январь, г. Ульяновск)

Результаты исследования показали, что панель CHN200-72M (площадью  $1 \text{ м}^2$ ) за январь в условиях г. Ульяновска способна вырабатывать 14501,34 кДж энергии.

#### Библиографический список

1. Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б. Изменение основных климатических показателей на территории Ульяновской области. / Ю.П. Переведенцев, Р.Б. Шарипова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2012. Вып. 1. С. 136–144.

## ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛИНЗЫ ФРЕНЕЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ

Киричев А.В., Кирпичникова И.М.  
Южно-Уральский государственный университет  
ionkim@mail.ru

Одной из причин, сдерживающих развитие солнечной энергетики в России, является большая рассредоточенность солнечной радиации [1, 2]. Для ее сбора необходимы эффективные концентрирующие устройства. Одним из примеров солнечного концентратора является пропускающая линза Френеля [3].

Она представляет собой линзу, составленную из примыкающих друг к другу концентрических колец небольшой толщины (рис. 1). Такая конструкция обеспечивает малую толщину (а, следовательно, и вес) линзе. Сечения колец у линзы строятся таким образом, что лучи от точечного источника, помещённого в фокусе линзы, после преломления в кольцах выходят практически параллельным пучком (в кольцевых линзах Френеля) [4].

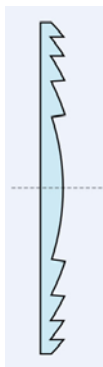


Рис. 1. Линза Френеля

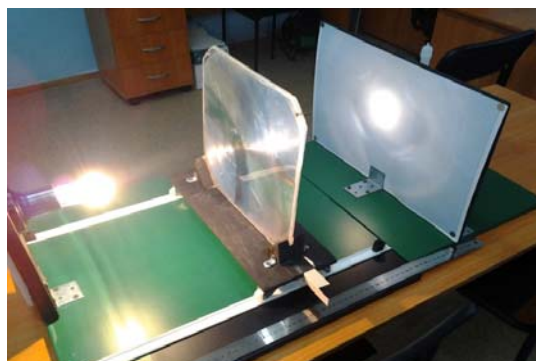


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Для исследования концентрации солнечных лучей была изготовлена лабораторная установка (рис. 2), позволяющая перемещать линзу вдоль оси установки. В качестве источника солнечных лучей использовалась лампа накаливания мощностью 75 Вт, ось которой совпадала с точкой центра линзы Френеля, перпендикулярной плоскости перемещения. Для изучения фокального пятна служила плоскость с миллиметровой бумагой, расположенная параллельно линзе.

Для изучения степени концентрации солнечных лучей вместо этой плоскости устанавливался зачерненный сосуд с водой объёмом 0,23 л., продольная ось которого совпадала с главной осью модели. Расстояние от источника излучения до линзы и принимающей плоскости (сосуда) фиксировалось с помощью измерительной шкалы.

Для исследования зависимости площади концентрации световых лучей от расстояния между линзой и источником, линзой и приемником использовались следующие обозначения:  $a$  – расстояние между источником и плоскостью линзы по главной оси;  $r$  – радиус фокального пятна;  $b$  – расстояние между линзой и принимающей плоскостью по главной оси.

Расстояние  $b$  при последующем переходе к реальной модели солнечного концентратора будет являться более существенной и удобной для использования величиной, т. к. регулировать расстояние между линзой и Солнцем придется в более редких случаях, чем расстояние между линзой и принимающей плоскостью.

Радиус линзы Френеля ( $R$ ) в пределах данного исследования равен 0,135 м и принимается постоянной величиной.

Для определения зависимостей  $r = f(a)$ ,  $r = f(b)$  плоскость линзы перемещалась по специальным направляющим вдоль главной оси. Расстояния  $a$  и  $b$  измерялись по специальной предназначенной для этого шкале, радиус  $r$  заме-

рялся по миллиметровой разметке принимающей плоскости. По полученным экспериментальным данным были построены соответствующие графические зависимости (рис. 3).

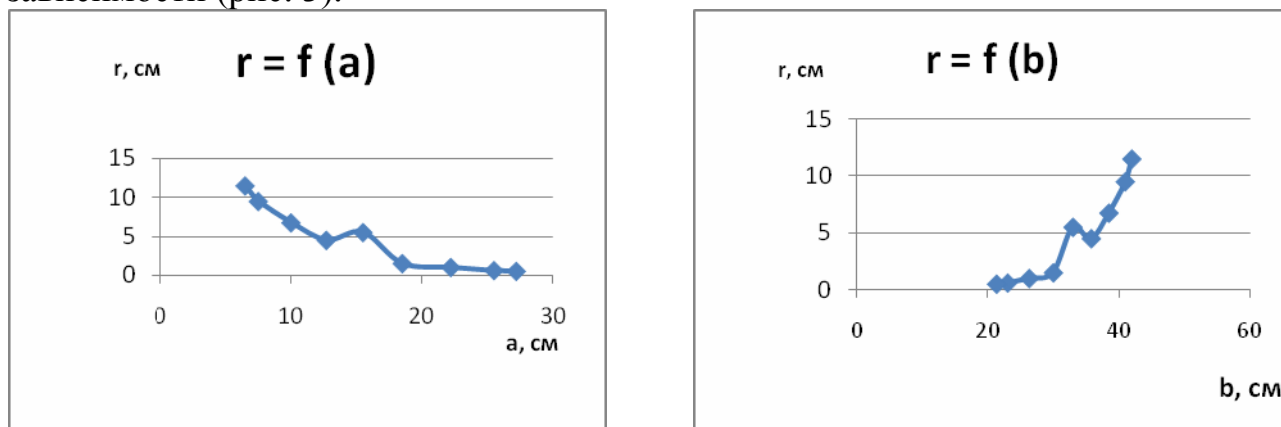


Рис. 3. Графики экспериментальных зависимостей

Полученные зависимости описываются следующими выражениями:

$$r = 33,42e^{-0,15a}, \quad (1)$$

$$r = 0,018e^{0,155b}, \quad (2)$$

где  $a$  – расстояние между источником и плоскостью линзы по главной оси;  $b$  – расстояние между линзой и принимающей плоскостью по главной оси;  $r$  – радиус фокального пятна.

С помощью разработанной модели для исследования степени концентрации световых лучей в ходе данной работы было проведено экспериментальное исследование по нагреванию воды в сосуде, окрашенном в чёрный цвет. Эксперимент проводился при следующих условиях: температура воздуха в комнате равна начальной температуре воды и имеет величину  $23,8^\circ\text{C}$ ; масса нагреваемой воды –  $0,230$  л.; время нагревания –  $5400$  с.; мощность лампы накаливания –  $75$  Вт. Данные зависимости температуры воды от времени работы линзы приведены на рис. 4.

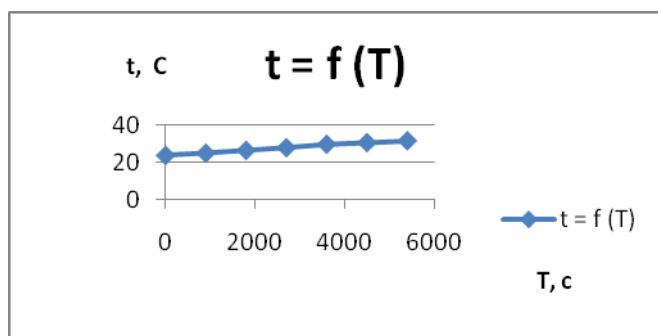


Рис. 4. График зависимости температуры воды от времени работы линзы

Для определения наиболее эффективной модели концентрирующей системы для нагрева воды были проведены сравнительные испытания

для модели концентратора с линзой Френеля и модели с помощью зеркальных отражающих концентраторов [5]. При этом площади поверхностей, концентрирующих световой поток, имеют практически равный размер. Объёмы нагреваемой воды равны. В обоих экспериментах сосуды окрашены в чёрный цвет.

Данные сравнительного эксперимента приведены в таблице.

## Сравнительный анализ двух экспериментов

| Критерий сравнения     |  | Исследуемый концентратор |               |
|------------------------|--|--------------------------|---------------|
|                        |  | Зеркальные отражатели    | Линза Френеля |
| Отражающая поверхность | Площадь отражающей поверхности, м <sup>2</sup> | 0,07065                  | 0,05723       |
|                        | Глубина кривизны отражающей поверхности, м     | 0,02                     | 0             |
| Световой поток         | Мощность лампы накаливания, Вт                 | 75                       | 75            |
|                        | Путь светового потока по главной оси, м        | 0,96                     | 0,49          |
| Рабочее тело           | Объём нагреваемой воды, л                      | 0,230                    | 0,230         |
|                        | Цвет сосуда с водой                            | чёрный                   | чёрный        |

Как видно из таблицы, за один и тот же промежуток времени в модели с линзой Френеля вода нагревается быстрее.

Это обстоятельство будет использовано для проведения дальнейших исследований по повышению эффективности преобразования солнечной энергии в фотоэлектрических модулях для получения электрической энергии.

### *Библиографический список*

1. Стребков Д.С. Технологии крупномасштабной солнечной энергетики / Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства [Электронный ресурс] URL: <http://www.viesh.ru/ru/sun/str-sunt.htm>.
2. Движение Земли вокруг Солнца [Электронный ресурс] URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1175352/node7.html>.
3. Френеля линза [Электронный ресурс] URL: <http://www.ligis.ru/effects/science/181/index.htm>.
4. Линза Френеля [Электронный ресурс] URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/линза\\_Френеля](http://ru.wikipedia.org/wiki/линза_Френеля).
5. Киричев А.В. Разработка демонстрационной модели солнечного концентратора // Энерго-и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции «», 13-16 декабря 2011 г. Екатеринбург: УрФУ, 2001. С. 433-436.

## ПЕРЕРАБОТКА ПРИРОДНОГО ГАЗА В МОТОРНОЕ ТОПЛИВО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ ВТГР

*Климова В.А., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, v.a.klimova@mail.ru*

Синтетические моторные топлива, которые могут быть получены из природного газа, привлекают интерес как альтернатива производным нефти, что связано не только с возрастающим ее дефицитом, но и с экологическими проблемами производства и использования бензина. Предварительно сжатый и ожиженный природный газ можно использовать в качестве моторного топлива, но продукты его переработки (рис. 1) обладают лучшими потребительскими свойствами [1]. Например, хранение и транспортировка диметилового эфира (ДМЭ) обходится значительно дешевле, чем сжиженного или сжатого природного газа. Кроме того, ДМЭ как моторное топливо обладает экологически чистым выхлопом, не содержащим серы и сажи, и практически без оксидов азота.

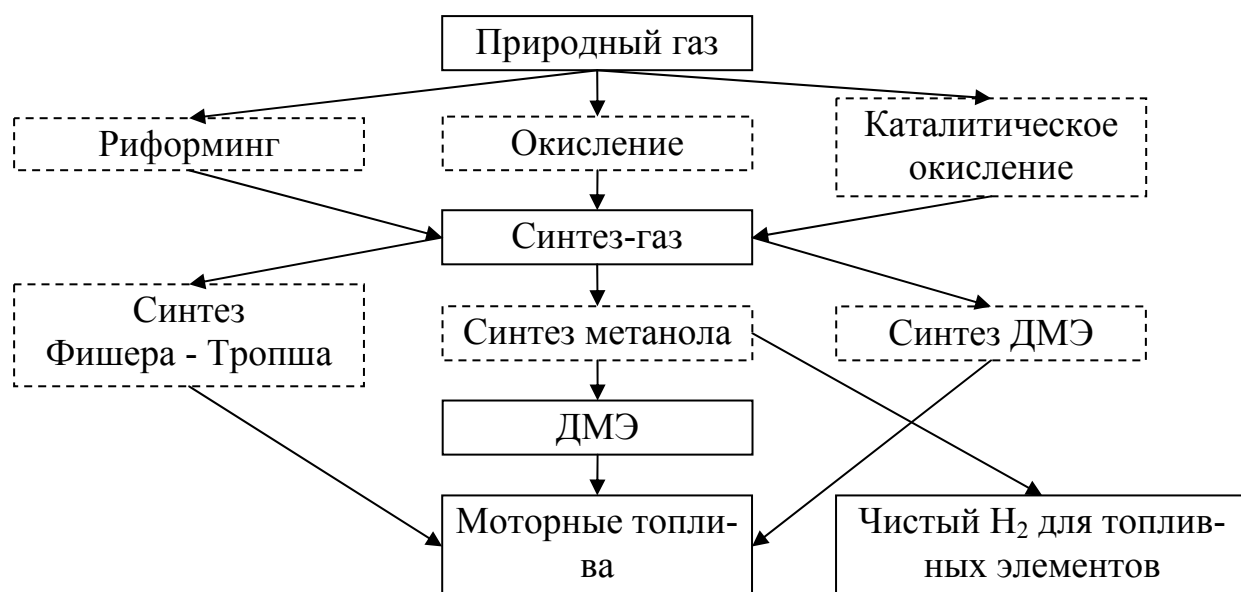
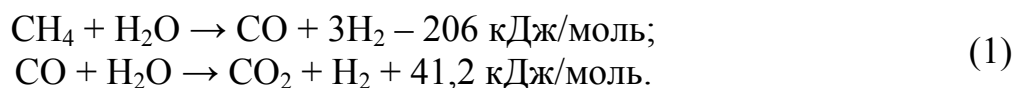


Рис. 1. Основные пути переработки природного газа в моторные топлива

Первая стадия процесса переработки природного газа в синтетическое топливо – это получение синтез-газа (смеси  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ ). В промышленности для этого чаще всего применяется паровая конверсия метана (риформинг) в конверсионной печи при температуре  $800 - 900^\circ\text{C}$  в присутствии дисперсного катализатора:



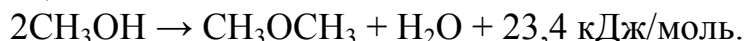
Установки риформинга имеют большие габариты (высота до  $15 - 20$  м) и снабжены многочисленными трубами, заполненными катализатором и обогреваемыми продуктами сгорания природного газа.

Дальнейший технологический маршрут синтез-газа зависит от процесса его вторичной переработки. В соответствующих химических реакторах из него получают метанол, ДМЭ, этан и другие продукты. Метанол и ДМЭ перерабатываются в высокооктановый бензин, причем ДМЭ обладает преимуществом, так как его синтез мало чувствителен к составу синтез-газа.

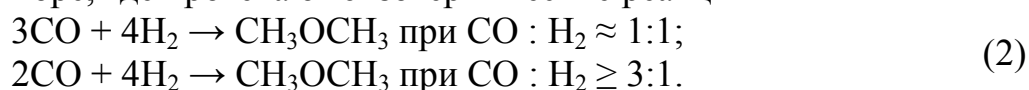
Традиционно процесс производства ДМЭ состоит из двух стадий [1]: синтеза метанола



и его дегидратации



Использование гибридных катализаторов позволяет объединить обе стадии в одном реакторе, где протекают экзотермические реакции



Объединение синтеза и дегидратации метанола в едином реакционном пространстве позволяет оптимизировать схему переработки природного газа в ДМЭ.

Реакции синтеза метанола и ДМЭ экзотермические и сопровождаются отводом теплоты, но получение синтез-газа в процессе паровой конверсии метана требует значительных затрат высокопотенциальной тепловой энергии. В настоящее время в промышленности нагрев реагентов и поддержание эндотермической реакции риформинга производится за счет сжигания природного газа. Задачу экономии органических энергоносителей можно решить путем внедрения в сферу производства синтез-газа ядерного энергоисточника, а именно высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР).

Активная зона ВТГР, состоящая из сферических тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ), охлаждается потоком гелия, движущегося в межшаровом пространстве активной зоны и имеющего на выходе температуру 900 – 1000 °С. Через промежуточный теплообменник тепловая энергия передается гелию второго контура, который с температурой 800 – 850 °С поступает в аппарат парового риформинга метана и обеспечивает реакцию конверсии необходимой теплотой. Продукт конверсии (синтез-газ) охлаждается и транспортируется по трубопроводам к месту его переработки в конечные продукты – моторные топлива (рис. 2). Тепло, отводимое в процессе синтеза ДМЭ, может использоваться для теплофикации.

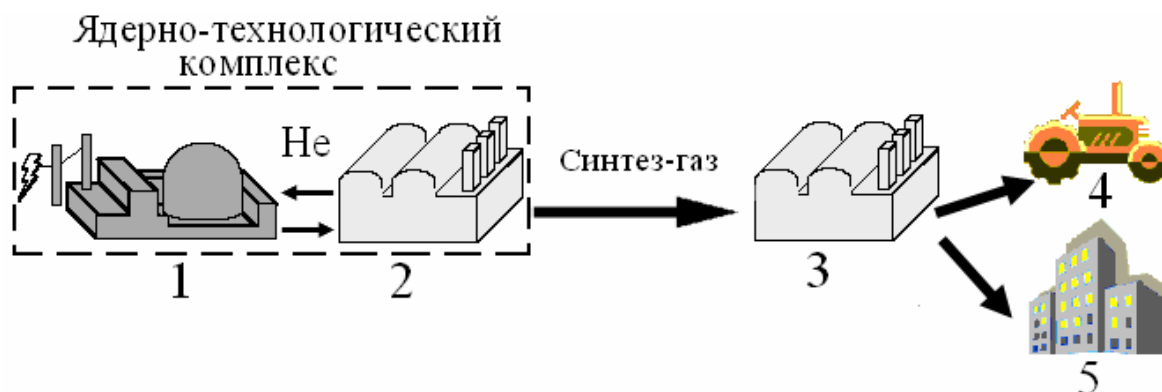


Рис. 2. Схема переработки природного газа:  
1 – атомная станция; 2 – система производства синтез-газа;  
3 – система переработки синтез-газа; 4, 5 – потребители

Оценим количество метана, которое необходимо сжечь для обеспечения теплотой производства синтез-газа. Теплота затрачивается на:

- получение водяного пара – теплота парообразования ~ 40,6 кДж/моль;
- нагрев смеси метана и водяного пара до температуры конверсии (800 °С) – 30...80 кДж/моль в зависимости от использования регенерации тепла;
- поддержание эндотермической реакции конверсии ~ 330 кДж/моль с учетом количества молей реакции.

Если не учитывать потери в окружающую среду, принять степень превращения метана 100 %, считать удельную теплоту сгорания метана высшей (~890 кДж/моль), то на 1 м<sup>3</sup> метана, конвертируемого в природный газ, требует-

ся дополнительно  $0,5 \text{ м}^3$  на обеспечение технологического процесса теплотой. В реальных трубчатых печах на обогрев расходуется до 50 % от общего количества природного газа.

Исследования [2] показали, что выбор радиальной схемы течения парометановой смеси сквозь слой катализатора, заполняющего все межтрубное пространство реактора, имеет существенные преимущества по сравнению с традиционной осевой схемой течения. Нагрев смеси ( $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ) осуществляется системой вертикально расположенных трубных пучков с гелиевым теплоносителем. Интенсивность теплопередачи от потока гелия к реакционной смеси можно заметно повысить, используя различные способы закрутки потока внутри труб и рациональным выбором режима радиального течения смеси.

Синтетическое моторное топливо, получаемое при переработке природного газа в ДМЭ и из него бензин, имеет хорошие экологические показатели. Использование теплоты ВТГР при производстве синтез-газа в качестве исходного сырья для синтеза ДМЭ позволяет экономить органические ресурсы и снижать энергоемкость производства. Схемы с радиальным течением газа в метановом конвертере и реакторах синтеза метанола и ДМЭ позволяет проектировать установки с минимальными габаритами и меньшими гидравлическими потерями по сравнению с используемыми в настоящее время.

#### *Библиографический список*

1. Розовский А.Я. Экологически чистые моторные топлива на базе природного газа / А.Я. Розовский // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 6. С. 701-712.
2. Климова В.А. Энерготехнологическая система дальнего атомного теплоснабжения с установками радиального течения газовых потоков / В.А. Климова, В.М. Пахалуев // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 26-30.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

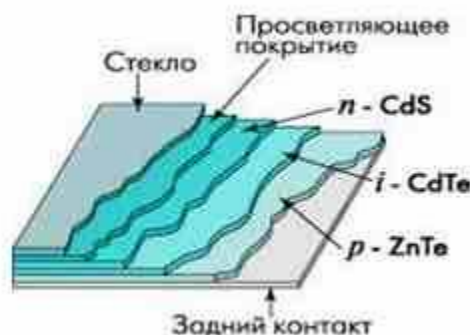
*Лаврешин А.П., Немихин Ю.Е  
УрФУ, nemikhin@rambler.ru*

В связи с тем, что основной материал солнечной энергетики – кремний, это непрямозонный полупроводник, и его коэффициент поглощения невысок, для эффективного поглощения солнечного света толщина изготавливаемых солнечных элементов должна составлять микрон. Это определяет наряду с затратным процессом получения кремния и его значительный расход, а, значит, и высокую стоимость солнечных модулей. Значительно снизить расход используемого материала и его стоимость позволяет применение тонкопленочной технологии на основе материалов с высоким коэффициентом поглощения таких, как:  $\text{CdTe}$ ,  $\text{Cu(In,Ga)Se}$ , которые применяются в виде поликристаллических пленок. К числу этих материалов относится и аморфный гомогенизированный кремний. Рассмотрим их достоинства и недостатки:



**Тонкопленочная технология CdTe** (рис. 1). В Европе в этой области очень активна одна компания "First Solar". Специалистам General Electric Research (GE) удалось повысить коэффициент преобразования энергии (КПЭ) тонкопленочных солнечных элементов на основе теллурида кадмия (CdTe) до 18,3 %. Это серьезный успех, если учесть, что прежний рекорд, установленный американским производителем солнечных модулей First Solar в 2012 г., побит на целый процентный пункт.

Рис. 1. Состав CdTe элемента



#### *Преимущества*

- Высокий стабильный КПЭ (производственная эффективность солнечного модуля порядка 10 %).
- Небольшие производственные издержки, результатом чего является очень низкая стоимость солнечных модулей.

#### *Недостатки:*

- Большая трудность контроля и воспроизведения процессов (низкий выход).
- Одновременно приходится контролировать два компонента Cd и Te, а также их надлежащий состав.

**Теллур (Te):** это редкоземельный металл, примерно в десять раз более редкий, чем In. Существует проблема гарантий поставок. Мировые запасы теллура оцениваются в 40-50 тыс. т. Главными источниками теллура служат шламы, образующиеся при электролитической очистке анодов меди. Данные по общему объему производимого в мире теллура неполны – приблизительно производство можно оценить в 360-400 т/год.

**Кадмий (Cd):** тяжелый металл. Необходимо учитывать аспекты загрязнения окружающей среды. СЭ в конце срока их службы необходимо специально утилизировать на свалках тяжелых металлов, это дорогостоящая конечная процедура возврата и переработки СЭ, при которой затраты должен будет принимать на себя изготовитель данных модулей. Ситуация выхода из строя СЭ в процессе эксплуатации: при разбитии стекла Cd может абсорбироваться и загрязнить почву. Таким образом, требуются дополнительные дорогостоящие затраты на монтаж модулей. Полосовая конструкция модуля на единой подложке затрудняет обеспечение зазоров.

**Индий и галлий: редкоземельные металлы.** Для производства тонкопленочных солнечных элементов CIS, способных генерировать 1 ГВт электроэнергии, требуется примерно 50 т индия. Гарантированные ресурсы поставки индия 2400 т. Проблема гарантии поставок. Цена одного кг индия в 2003 г. составляла 100 долл. США, в 2005 г. она возросла до 1000. Проблема стабильности цен на сырьевые материалы.

**Тонкопленочная технология диселенида меди и индия CuInSe<sub>2</sub> (CIS) и Cu(In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)Se<sub>2</sub> (CIGS).** В этой области работают примерно 20 компаний (в ос-



новном немецкие и из США). Например, Wurth Solar и Avancis. Ученые из Eмра, швейцарской Федеральной лаборатории технологий и материаловедения, утверждают, что создали солнечные элементы на основе соединения диселенида галлия, индия и меди (CIGS) на тонком полимерном основании, обеспечивающие 20,4 %-ную эффективность преобразования солнечного света в электроэнергию.

CIS: Японская компания Solar Frontier создала тонкопленочные фотоэлементы с 19,7 %-ной эффективностью преобразования солнечного света в электроэнергию, использующие полупроводниковый материал на основе меди, индия и селена (CIS), прежнее достижение для фотоэлементов этого типа составляло 18,6 %.



|                            | На основе кристаллического кремния (c-Si mono, c-Si multi)   | Тонкопленочные технологии (a-Si, $\mu$ -Si, CIGS, CdTe)   |
|----------------------------|--|---|
|                            |                   |    |
| Себестоимость производства | Себестоимость производства зависит от цен на сырье - поликремний                                   | При производстве используется в 200 раз меньше кремния, что обеспечивает значительное снижение себестоимости производства           |
| Восприятие света           | Восприятие только прямого света, необходимость установки дополнительных систем слежения за солнцем | Лучшее восприятие рассеянного света, меньший температурный коэффициент (меньшее снижение эффективности при повышении температуры)   |
| Развитие технологии        | Технология с ограниченным потенциалом развития   | Новая технология с перспективой развития (повышение КПД, уменьшение себестоимости, применение в строительстве и архитектуре)        |
| Применимость               | Крышные установки, солнечные парки (7-8 м <sup>2</sup> /кВт)                                       | Крышные установки, фасады и остекление, солнечные парки (11-15 м <sup>2</sup> /кВт)   |
| Сегмент потребителей       | Генерирующие компании, крупные и бытовые потребители   | Генерирующие компании, девелоперы, крупные и бытовые потребители  |
| КПД                        | Монокристаллические – 16-18%,<br>поликристаллические – 13-15%                                      | a-Si – 6,7% (макс 13%),<br>$\mu$ -Si (микроморфная) – 9,3% (макс 15,4%),<br>CIGS – 11,3% (макс 19,5%),<br>CdTe – 11,1% (макс 16,5%) |

Рис. 2. Сравнительные данные фотоэлементов на основе кристаллического кремния и тонкопленочных

#### *Преимущества:*

– Высокий стабильный КПЭ (производственная эффективность модулей порядка 11-13 %).

– Технология получения слоев  $\text{CuInSe}_2$  достаточно проста и заключается в последовательном осаждении термическим испарением тонких слоев Ga, Se и Cu на поверхность подложки последующего быстрого термического отжига.

#### *Недостатки:*

– Чрезвычайная трудность контроля и воспроизведения процессов (низкий выход годных элементов).

– Необходимость тщательного проектирования полос и зазоров в модуле, который трудно воспроизвести.

*Выводы.* У тонкопленочных фотоэлементов есть неплохие шансы сравняться с кремниевыми по стоимости производства (в расчете на единицу мощности), но их более низкий КПЭ (КПД) должен компенсироваться либо эксплуатационными характеристиками (например, более низкой скоростью деградации), либо сокращением, так называемого, баланса системы расходов. Таким образом, по оценкам экспертов, тонкопленочные технологии CdTe+CIGS смогут внести максимально  $\sim 45$  ГВт/год новых генерирующих мощностей к 2025 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОВОГО ПОТОКА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ В Г. ОРСКЕ

*Лукьянова К.С., Фазлиахметова М.Ф., Гюнтер Д.А.  
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ*

С каждым годом на бытовые нужды расходуется всё большая доля электроэнергии, в огромных масштабах растёт применение бытовой электрифицированной техники. Одним из способов уменьшения затрат электрической энергии является использование альтернативных источников энергии. Так, в 2008 году Правительство России задалось целью довести мощность возобновляемых источников энергии до 4,5 % от общего производства энергии в стране, или 22 ГВт к 2020 году [1]. Наибольших успехов среди возобновляемых источников энергии достигла ветроэнергетика, которая на сегодня является самой быстроразвивающейся отраслью. Город Орск рассматривается, как территория с высоким ветровым потенциалом, благодаря своему расположению в лесостепном поясе страны.

Как известно, данные о скорости ветра, получаемые на метеостанциях, могут характеризовать ветровой режим в некоторой области установки станции, так как характер подстилающей поверхности сильно влияет на скорость и направление ветра. Под влиянием различных факторов природного или техногенного происхождения скорость ветра может, как ослабевать, так и усиливаться. Поэтому наблюдение за ветром на площадке предполагаемого расположения ВЭУ даст исчерпывающую информацию о характере ветрового потока с учетом местных условий.

Нами была поставлена задача определения средней удельной мощности ветрового потока вблизи земной поверхности для использования в «малой» ветроэнергетике.

По определению удельная мощность ветрового потока равна

$$\langle N \rangle = \frac{1}{2} \rho \langle v^3 \rangle. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что для оценки удельной мощности необходимо знание повторяемости различных скоростей ветра на участке, так как

$\langle v \rangle^3 \neq \langle v^3 \rangle$ . Поэтому для определения  $\langle v^3 \rangle$  необходимо воспользоваться следующей формулой

$$\langle v^3 \rangle = \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv, \quad (2)$$

где  $f(v)$  – дифференциальная функция распределения скоростей ветра.

В диссертационной работе [2] было показано, что в качестве функции распределения для аппроксимации статистических данных скоростей ветра лучше использовать распределение Вейбулла-Гудрича, которое имеет вид:

$$F(v) = 1 - \exp \left( - \lambda \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta} \right). \quad (3)$$

Здесь  $\lambda$  и  $\delta$  – параметры распределения, которые необходимо определить.

Для поставленной задачи на открытом участке, отведенном под индивидуальное строительство, в весенне-летний период (с марта по июль) были осуществлены экспериментальные измерения скорости ветра на высоте порядка 2 метров. Суммарно было произведено 197 измерений (в среднем 2-3 измерения в сутки).

Исходный массив экспериментальных данных подвергся математической обработке. Для определения параметров интегрального распределения был применен метод наименьших квадратов (рис. 1). Параметры распределения (3) оказались равны следующим значениям

$$\lambda = 1.125, \quad \delta = 1.239. \quad (4)$$

Заметим, что полученные числовые значения согласуются в пределах 15 % с данными, приведенными в работе [2] по Оренбургской области. Коэффициент корреляции между экспериментальными значениями и аппроксимирующей кривой равен  $r = 0.975$ .

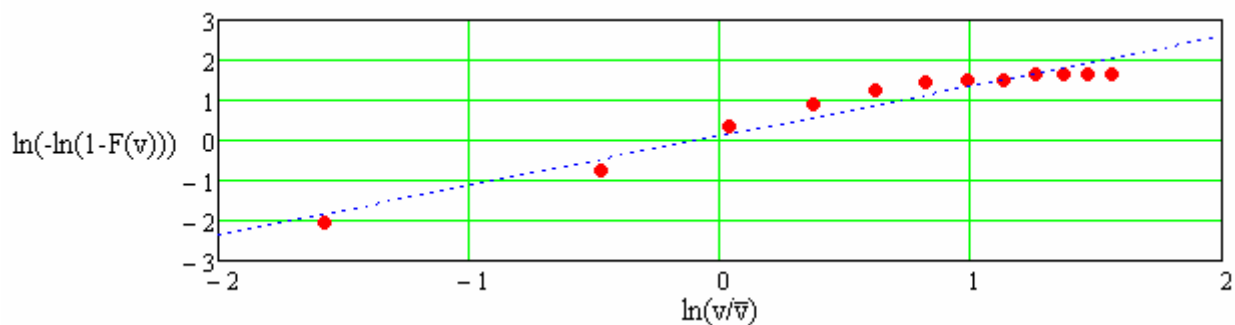


Рис. 1. Красными точками отмечены экспериментальные значения, пунктирная линия – аппроксимирующая кривая, полученная МНК

Дифференциальный закон распределения скоростей ветра найдем по известному соотношению

$$f(v) = \frac{dF(v)}{dv} = \frac{\lambda \delta}{\bar{v}} \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta-1} \cdot \exp \left( - \lambda \left( \frac{v}{\bar{v}} \right)^{\delta} \right). \quad (5)$$

На рис. 2b приведена гистограмма распределения скоростей ветра по градациям с шагом 1 м/с, а также найденная функция плотности распределения

скоростей ветра (5), которая показана штрихпунктирной кривой. Как видно из рисунка, имеется некоторое несовпадение в области значений скоростей 2-3 м/с между пиками теоретической кривой и экспериментальными данными. Одним из объяснений может служить тот факт, что зависимость (5) получена из интегральной функции, которая учитывает все измеренные на опыте скорости. Как видно из рисунка 2а, интегральная функция  $(1 - F(v))$  с достаточной точностью описывает экспериментальные данные. Другим фактором является относительно малое число натурных измерений скорости ветра.

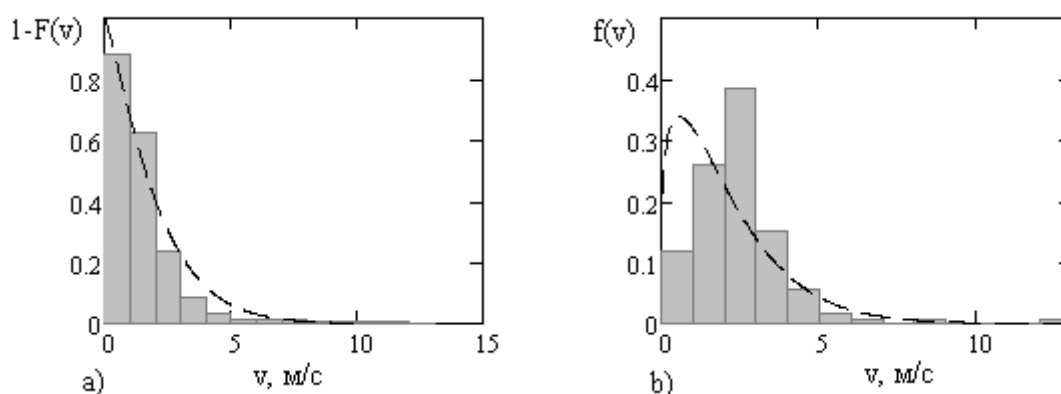


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных представленных в виде гистограмм и найденными теоретическими функциями (штрихпунктирные кривые)

Таким образом, зная дифференциальную функцию распределения (5), определим по формуле (2) среднюю кубическую скорость, а также среднюю скорость ветра на рассматриваемом участке

$$\langle v \rangle = 2.1 \text{ м/с}, \quad \langle v^3 \rangle = 32.4 \text{ м}^3/\text{с}^3. \quad (6)$$

Примем плотность воздуха равной  $\rho = 1.2 \text{ кг/м}^3$ , тогда по формуле (1) удельная мощность ветрового потока в приземном слое ( $h \approx 2 \text{ м}$ ) будет равна

$$\langle N \rangle = 19.5 \text{ Вт/м}^2. \quad (7)$$

Как известно, скорость ветра при прочих равных условиях увеличивается с высотой, поэтому, сделав допущение, что возрастание средней скорости по высоте происходит так же, как и возрастание средней удельной мощности ветрового потока, получим следующую оценку удельной мощности ветра для высот 10 м и 18 м, т.е.

$$\langle N \rangle|_{h=10 \text{ м}} = 23.4 \text{ Вт/м}^2, \quad \langle N \rangle|_{h=18 \text{ м}} = 27.8 \text{ Вт/м}^2. \quad (8)$$

Итак, для различных моделей ВЭУ малой мощности с высотой мачты от 10 м до 18 м и радиусом лопастей от 3 до 5 метров оценка удельной мощности (8) дает величину вырабатываемой мощности от 300 Вт до 800 Вт с учетом КПД установки.

#### Библиографический список

1. Рензо Д. Ветроэнергетика / под ред. Я.И. Шефтера. М.: Энергоатомиздат, 1982. С. 4–35.
2. Рыхлов А.Б. Климатологическая оценка ветроэнергетического потенциала на различных высотах: на примере юго-востока Европейской территории России: автореф. дис. ... доктора географических наук: 25.00.30 / Рыхлов А.Б.; [Место защиты: Казан. (Приволж.) федер. ун-т]. Казань, 2012. 36 с.: ил. РГБ ОД, 9 12-5/2938.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Манылов С.А., Лебле Г.В., Соболева О.Н.  
Вятский государственный университет, г. Киров  
sergei\_manylov@mail.ru, olsia-soboleva@bk.ru*

Сельское хозяйство является весьма сложным и своеобразным объектом с точки зрения энергообеспечения. Но при создании системы энергообеспечения сельского хозяйства эти особенности учтены не были. В результате была создана громоздкая и неэффективная система энергообеспечения, которую составляют десятки тысяч километров линий электропередач, множество котельных, громоздкий металлоемкий машинный парк и многое другое. За последние десятилетия к этим недостаткам добавилась предельная их изношенность (60-80 %).

Положение в сельском хозяйстве непрерывно усложняется стремительным ростом тарифов и цен на ТЭР, что приводит к увеличению доли стоимости электроэнергии в себестоимости производимой продукции.

Основной топливно-энергетический ресурс в Кировской области – природный газ (65,6 %), который постоянно дорожает, в результате возникает необходимость поиска альтернативного источника энергии.

Анализ показал, что доступными природными энергетическими ресурсами являются солнце, ветер и вода.

Предварительно проведенные расчеты позволили сделать вывод, что при использовании энергии Солнца для удовлетворения потребности в электроэнергии одного сельскохозяйственного предприятия потребуется солнечных батарей площадью 41 га, что уже осложняет применение данного возобновляемого источника энергии. При использовании энергии ветра эколого-экономически выгодными считаются ветроэлектрические станции в районах с наибольшими скоростями ветра (4,2...5,2 м/с). Это г. Киров и 6 районов области (Нагорский, Санчурский, Советский, Уржумский, Яранский районы). Стоимость одной ветроустановки мощностью 100 кВт составляет 10 млн руб. Для удовлетворения потребности электроэнергии одного сельскохозяйственного предприятия их потребуется не менее пяти. В результате данный альтернативный источник делает невозможным его применение из-за высокой стоимости и ограниченности территориального применения.

Малая гидроэнергетика – это составная часть гидроэнергетики, связанная с использованием энергии водных ресурсов и гидравлических систем при помощи гидроэнергетических установок малой мощности.

Современная гидроэнергетика по сравнению с другими традиционными видами электроэнергетики является наиболее экономичным и экологически безопасным способом получения электроэнергии. Малая гидроэнергетика идет в этом направлении еще дальше. Источниками ресурсов малой гидроэнергетики являются естественные и искусственные водотоки, водохранилища, озера и пруды, водохозяйственные или гидравлические системы разного назначения, а также другие малые водные потоки, потенциал которых может быть использован для получения электрической энергии при помощи установок малой мощ-

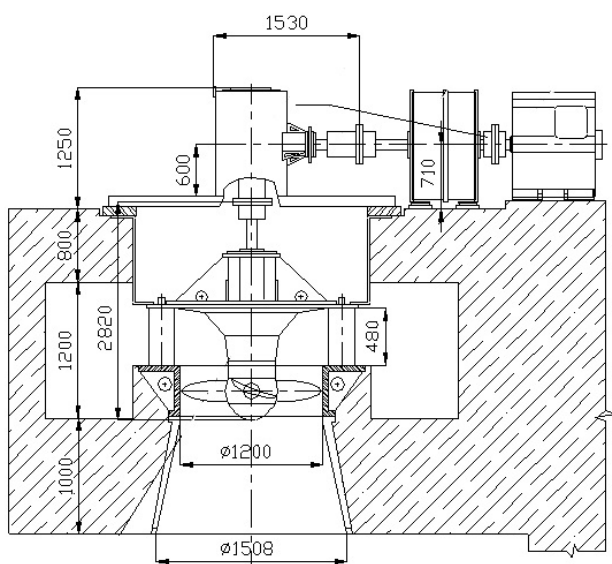
ности. Небольшие электростанции позволяют сохранять природный ландшафт, окружающую среду не только на этапе эксплуатации, но и в процессе строительства. При последующей эксплуатации отсутствует отрицательное влияние на качество воды: она полностью сохраняет первоначальные природные свойства. В реках сохраняется рыба, вода может использоваться для водоснабжения населения. Кроме того, малая гидроэнергетика практически не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу дешевой электроэнергии потребителю. Еще одно преимущество малой энергетики – экономичность.

Общая протяженность рек в пределах области составляет около 66,5 тыс. км, из них 85 % приходится на водотоки длиной до 50 км, около 15 % – свыше 50 км. В целом энергетический потенциал рек области составляет 2 млрд кВт·ч в год, что способствует удовлетворению потребности не только сельхозпроизводителей, но области в целом. В результате мы пришли к выводу, что наиболее доступным возобновляемым источником энергии выступает вода.

По состоянию на 01.01.2010 г. в области имелось более 20 гидроузлов с капитальными (железобетонными) под напорными гидротехническими сооружениями (ГТС).

Из перечисленных объектов имеют мощность «по водотоку»: до 100 кВт составляют 13, от 100 до 300 кВт составляют 4, от 300 до 500 кВт - 2, от 500 до 700 кВт - 2.

При выборе гидротурбины руководствуются двумя основными величинами – это напор и удельный расход воды. Кировская область располагается на равнине и не располагает большим естественным напором. В таких случаях наиболее рационально прибегнуть к использованию турбин пропеллерного типа «Полу–Каплан».



Общий вид пропеллерной турбины

Технические данные турбины:

Напор (нетто) 3,5 – 9 м;  
Расход воды 2,3 – 6,2 м<sup>3</sup>/с;  
Мощность 100 – 315 кВт;  
Номинальное напряжение – 0,4 кВ  
(зависит от типа и параметров генератора);  
Частота тока – 50 Гц;  
Частота вращения турбины – 200, 257, 300, 360 об/мин;  
Частота вращения генератора – 500 об/мин

Пропеллерная турбина имеет самую высокую быстроходность среди всех типов турбин. Что позволяет при малых скоростях потока получать более высокую скорость вращения. Высокие обороты турбины в свою очередь позволяют применять более быстроходные, а, значит, более легкие и дешевые электрогенераторы или уменьшать расходы на

мультипликаторы. Поэтому пропеллерные турбины применяют при самых низких напорах, когда скорости потока невелики. Применение других типов гидротурбин также возможно, но для этого потребуется получение более высокого напора, который можно создать, используя высоконапорные плотины или деривационную систему подачи воды, но в этом случае расходы на строительство новых объектов и реконструкцию уже существующих сильно возрастут.

В результате газификации области появляется возможность установки газотурбинных установок, но сравнительная характеристика их экономической эффективности с малыми гидроэлектростанциями показала, что по многим позициям наиболее эффективными выступают МГЭС.

#### Показатели эффективности строительства малой ГЭС

| Показатель                                    | МГЭС  | ГТУ   |
|---|-------|-------|
| Установленная мощность, кВт                   | 600   | 600   |
| Стоимость оборудования, тыс. руб./кВт         | 16,6  | 47,0  |
| Затраты строительно-монтажные, тыс. руб.      | 16000 | 2800  |
| Годовая выработка электроэнергии, млн. кВт·ч  | 4,850 | 5,256 |
| Капиталовложения, млн. руб.                   | 40,5  | 30,0  |
| Ежегодные эксплуатационные расходы, тыс. руб. | 420   | 2600  |
| Себестоимость 1 кВт·ч, руб.                   | 0,45  | 1,47  |
| Срок окупаемости, лет                         | 1,8   | 1,7   |

Так, при строительстве малой ГЭС установленной мощностью около 600 кВт стоимость строительно-монтажных работ составляет 16,0 млн руб. При совмещенном графике разработки проектной документации, изготовления оборудования, строительства и монтажа малая ГЭС вводится в эксплуатацию за 15-18 месяцев.

Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на подобной ГЭС, составляет не более 0,45-0,5 руб. за 1 кВт·ч, что в 10 раз ниже, чем стоимость электроэнергии, фактически реализуемой энергосистемой. Ежегодный прирост цен на электроэнергию составляет 15-25 %. Таким образом, затраты на строительство окупятся примерно за 2 года. Реализация такого проекта не нанесет ущерба окружающей среде.

Таким образом, получение энергии от малых гидроэлектростанций в условиях Кировской области более эффективно, чем от иных альтернативных источников.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

Немков Д.А., Немихин Ю.Е., Хайретдинова Л.Р., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, nemikhin@rambler.ru

Предпосылкой к проведению исследования стал замеченный факт, что средний куб скорости ветра за сутки, измеренной с частотой в один час, почти в два раза меньше, чем средний куб скорости, измеренной с частотой в одну секунду. Из проведенных исследований следует, что подобная закономерность соблюдается всегда.

Для ветровой энергетики одним из важнейших параметров ветрогенераторов является вырабатываемая мощность. Ветер обладает кинетической энергией, которая может быть превращена при помощи ВЭС в механическую, а затем электрогенератором в электрическую энергию.

Одной из важнейших характеристик ветрогенератора является мощность. В первом приближении мощность может быть рассчитана по формуле (1) [1]

$$N = \frac{\rho S v^3}{2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $S$  – обдуваемая площадь,  $v$  – скорость ветрового потока. Из формулы (1) для мощности может быть получена средняя мощность за день путем интегрирования (усреднения) по количеству измерений.

$$\langle N \rangle = \frac{\rho S \langle v^3 \rangle}{2}, \quad (2)$$

где  $\langle N \rangle$  – средняя мощность за сутки,  $\langle v^3 \rangle$  – средний куб скорости за этот же период. При этом, чем точнее измерен средний куб скорости, тем точнее можно оценить среднюю мощность ветрового потока. Для точной оценки средней скорости потребовалось бы измерять её каждый бесконечно малый промежуток времени, что технически невозможно. Определим оптимальную частоту измерений скорости ветра, которая технически могла бы быть реализована.

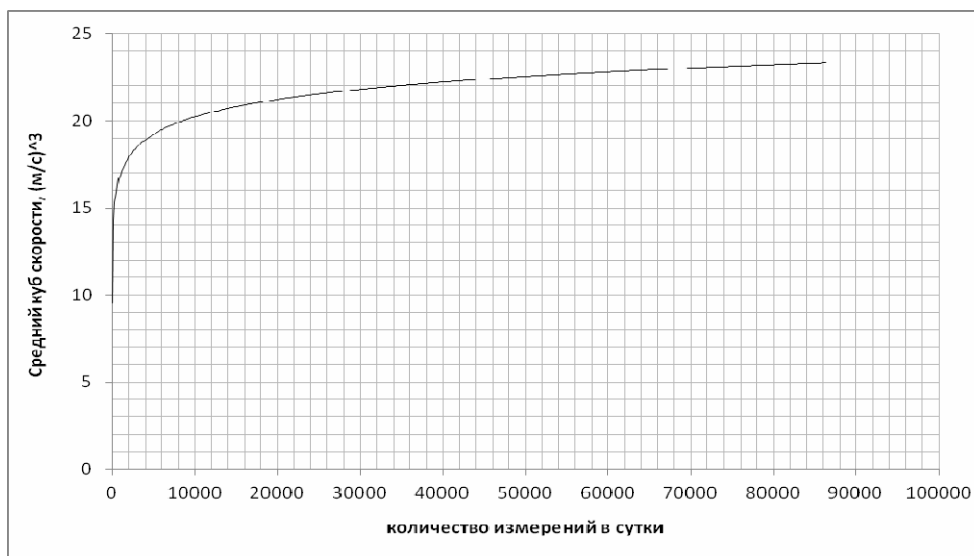
Все расчеты производились с использованием архивных данных системы мониторинга окружающей среды на кафедре АС и ВИЭ, УрФУ. Анемометр расположен на здании Уральского энергетического института. Соответствие между временными интервалами и частотой измерений приведено в таблице.

Количество измерений в сутки

| Периодичность измерений    | 4 ч | 3 ч | 2 ч | 1 ч | 40 мин | 30 мин | 20 мин | 10 мин | 8 мин | 6 мин | 4 мин | 2 мин | 1 мин | 40 сек | 30 сек | 20 сек | 10 сек | 5 сек | 4 сек | 3 сек | 2 сек | 1 сек |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ν, кол-во измерений в сут. | 6   | 8   | 12  | 24  | 36     | 48     | 72     | 144    | 180   | 240   | 360   | 720   | 1440  | 2160   | 2880   | 4320   | 8640   | 17280 | 21150 | 28200 | 42300 | 86400 |

Общий вид полученной зависимости  $\langle v^3 \rangle = f(\nu)$ : представлен на рисунке. График построен на основе данных за 17.09.2013 г.





Зависимость  
среднего куба  
скорости ветра  
от числа измерений  
за сутки

В качестве аппроксимации предлагается логарифмическая аппроксимация:

$$\langle v^3 \rangle = 1,437 \ln(v) + 6,991 .$$

#### Заключение

Можно сделать вывод, что такая форма характерна для данной зависимости в целом. Этот факт позволяет установить оптимальную частоту измерений. Функция имеет «полочку» после  $v_i = 30000$  и в дальнейшем имеет небольшое изменение на 7-8 %, следовательно, можно ограничиться частотой измерений  $v_i$ .

Из проведенных исследований и построенных зависимостей среднего куба скорости ветра от частоты измерения скорости ветра, можно заключить, что оптимальная частота измерения скорости ветра лежит в диапазоне до 30000 раз в сутки, т.е. с интервалом в 3 секунды. Дальнейшее увеличение частоты измерений может привести лишь к неоправданным техническим и экономическим затратам.

#### Библиографический список

1. Твайдел Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайдел. А. Уэйр: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 120 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ПАРОВЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ

Никитин А.Д., Стариков Е.В., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, [studentshurik@gmail.com](mailto:studentshurik@gmail.com)

Для исследования возможности использования энергии паровых снарядов для перекачивания жидкости была собрана установка под названием «Пузырьковый насос». Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1.

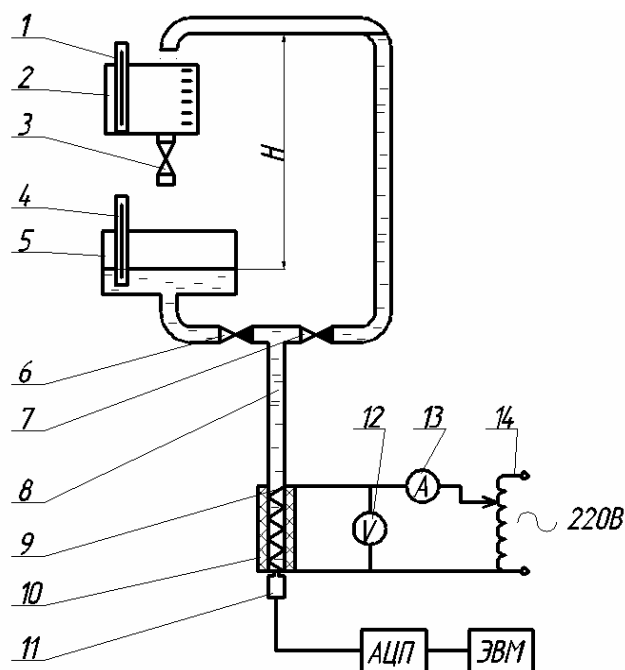


Рис. 1. Схема установки:

$H$  – высота, на которую закачивается жидкость; 1, 4 – термометры; 2 – емкость с рисками для измерения объема; 3 – сливной кран; 5 – емкость с водой; 6, 7 – обратные клапаны; 8 – стеклянная трубка; 9 – спираль для нагрева; 10 – тепловая изоляция; 11 – датчик, измеряющий давление; 12 – вольтметр; 13 – амперметр; 14 – автотрансформатор

Принцип действия установки следующий. При подводе теплоты к жидкости, находящейся в нижней части стеклянной трубки 8, в ней образуются крупные пузыри пара. В момент образования пузыря давление в трубке повышается. Обратный клапан 7 открывается, и часть жидкости, равная объему образовавшегося пузыря, выталкивается в напорную линию. При этом клапан 6 закрыт, он препятствует выталкиванию жидкости в емкость 5. Так как плотность пара меньше плотности жидкости, то пузырь всплывает в верхнюю часть трубки, где происходит отвод теплоты через стенки трубки в окружающую среду и конденсация пузыря. При этом давление снижается, клапан 7 закрывается, клапан 6 открывается и происходит всасывание новой порции жидкости из емкости 5.

Расход измеряется следующим образом: закрывается кран 3, с использованием секундомера засекается время, за которое набирается объем жидкости (определяется по рискам на емкости 2), объем делится на время, получается расход. Датчик давления 11 измеряет давление с установленной частотой (при испытаниях – 0,2 с), что позволяет зафиксировать амплитуду, частоту и форму импульсов давления.

Условием работы пузырькового насоса является образование крупных отдельных пузырей пара, которые вызывают значительные перепады давления (так называемый гиперснрядный режим кипения [1]). Отдельные крупные пузыри образуются при кипении в стесненных условиях. Под стесненными условиями в данном случае понимаются такие условия, в которых не развита естественная конвекция; эти условия достигаются, в частности, при кипении в узких вертикальных трубках [1].

В качестве перекачиваемой жидкости при испытаниях пузырькового насоса использовалась недистиллированная вода. В ходе испытаний пузырькового насоса выяснилось, что расход перекачиваемой воды зависит от высоты, на которую закачивается вода, подводимой мощности и температуры воды на входе в насос. По результаты измерений построены зависимости расхода от температуры воды на входе, подводимой мощности и высоты подъема воды (рис. 2–4).

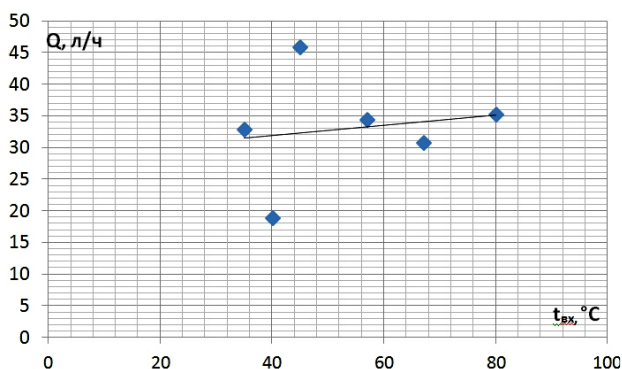


Рис. 2. Зависимость расхода от температуры воды на входе

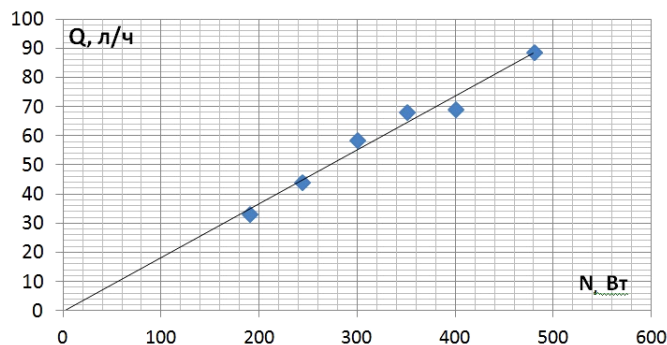


Рис. 3. Зависимость расхода от подводимой мощности

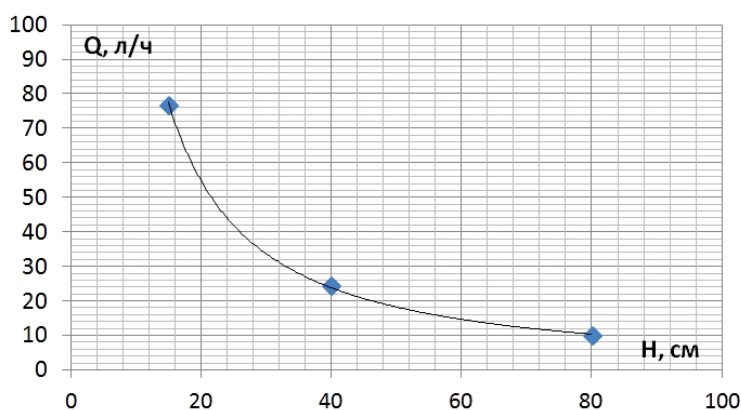


Рис. 4. Зависимость расхода от высоты подъема воды

Как видно из рис. 3–4, расход увеличивается с увеличением температуры воды на входе, линейно растет с увеличением подводимой мощности и обратно пропорционален высоте подъема воды.

В ходе испытаний было установлено, что собранная установка прекращает перекачивать жидкость при совокупности следующих условий: низком значении температуры воды на входе (менее  $35^\circ\text{C}$ ), большом значении высоты подъема воды (более 70 см) и большом значении мощности (более 300 Вт). Перекачивание прекращается, так как происходит смена режима кипения (вместо снарядного начинается кольцевой режим).

Для достижения наилучшей работы насоса необходимо подобрать оптимальное значение подводимой мощности для данных значений температуры вода на входе и высоты ее подъема.

Таким образом, в ходе работы собрана и испытана установка, которая использует энергию паровых снарядов для перекачивания жидкости. Установка – пузырьковый насос – испытана при следующих параметрах: подводимая мощ-

ность от 0 до 500 Вт, температура перекачиваемой воды от 20 до 85 °С. При этом максимальное значение расхода составило 90 л/ч, максимальная высота подъема воды – 185 см.

На основании проделанной работы сделан вывод: практическое использование энергии паровых снарядов для перекачивания жидкости возможно. В связи с этим открываются перспективы по созданию насоса, работающего на данном принципе.

#### *Библиографический список*

1. Стариков Е.В. К вопросу о параметрах гиперснарядного режима кипения жидкостей в стесненных условиях / Е.В. Стариков // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 18-21 декабря 2012 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 173–175.

## **РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ПУЗЫРЬКОВОГО НАСОСА**

*Никитин А.Д., Стариков Е.В.  
УрФУ, studentshurik@gmail.com*

Пузырьковый насос – это устройство, которое использует энергию паровых снарядов для перекачивания жидкости. Принцип действия насоса следующий. При подводе теплоты к жидкости, находящейся в узком канале, в ней образуются крупные пузыри пара. В момент образования пузыря давление в канале повышается, и часть жидкости, равная объему образовавшегося пузыря, выталкивается через обратный клапан в напорную линию. Так как плотность пара меньше плотности жидкости, то пузырь всплывает в верхнюю часть трубки, где происходит отвод теплоты через стенки трубки в окружающую среду и конденсация пузыря. При этом давление снижается и происходит всасывание новой порции жидкости.

Для разработки физической модели работы пузырькового насоса необходимо учесть и математически описать все процессы, происходящие при его работе.

Подводимая к насосу мощность расходуется на нагрев воды, на изменение потенциальной и кинетической энергии перекачиваемой воды; часть мощности отводится в окружающую среду при конденсации пузыря. Кроме этого, необходимо учесть потери: гидравлические и тепловые. Таким образом, закон сохранения энергии имеет следующий вид:

$$N = Q \cdot \rho_v \cdot c_p \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) + \nu \cdot V_n \cdot \rho_n \cdot (h_n'' - h_n') + Q \cdot \rho_v \cdot g \cdot H + \frac{Q \cdot \rho_v \cdot u^2}{2} + Q_{\text{т пот}}, \quad (1)$$

где  $N$  – подводимая электрическая мощность;  $Q$  – объемный расход перекачиваемой воды;  $\rho_v$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $c_p$  – теплоемкость воды при давлении в трубке;  $t_{\text{вых}}$  – температура воды на выходе из насоса;  $t_{\text{вх}}$  –

температура воды на входе в насос;  $V_{\text{п}}$  – объем пузыря;  $\rho_{\text{п}}$  – плотность пара при давлении в трубке;  $\nu$  – частота образования пузырей;  $h''_{\text{к}}$  – энтальпия насыщенного пара при давлении конденсации пузыря;  $h'_{\text{к}}$  – энтальпия насыщенной воды при давлении конденсации пузыря;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $H$  – высота подъема воды;  $u$  – средняя скорость движения воды в трубке при образовании пузыря (средняя скорость роста пузыря);  $Q_{\text{т пот}}$  – суммарная мощность потерь.

Часть импульса давления, возникающего при образовании пузыря, передается столбу воды, находящемуся в насосе и напорной линии, в результате чего столб приходит в движение, и вода перекачивается (считается, что скорость распространения импульса в воде гораздо больше скорости роста пузыря). Другая часть импульса идет на потери. Для учета потерь вводится поправочный коэффициент, равный доле импульса, затрачиваемого на совершение полезной работы. Поэтому закон сохранения импульса будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{K_{\text{р}} \cdot \Delta P \cdot S_{\text{тр}}}{\tau_{\text{и}}} = \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}} \cdot u, \quad (2)$$

где  $K_{\text{р}}$  – доля импульса, которая передается столбу воды;  $\Delta P$  – положительный перепад давления;  $S_{\text{тр}}$  – площадь поперечного сечения трубки;  $\tau_{\text{и}}$  – время образования пузыря;  $V_{\text{в}}$  – объем воды в трубке и напорной линии.

Связь расхода со скоростью:

$$Q = u \cdot \tau_{\text{и}} \cdot S_{\text{тр}} \cdot n. \quad (3)$$

Связь расхода с объемом пузыря:

$$Q = V_{\text{п}} \cdot \nu. \quad (4)$$

Объем воды в трубке и напорной линии:

$$V_{\text{в}} = S_{\text{тр}} \cdot H_{\text{тр}} + S_{\text{л}} \cdot (L + H), \quad (5)$$

где  $S_{\text{тр}}$  – площадь поперечного сечения трубки;  $H_{\text{тр}}$  – высота трубки;  $S_{\text{л}}$  – площадь поперечного сечения напорной линии;  $H$  – высота подъема воды;  $L$  – длина напорной линии за вычетом высоты подъема воды.

Время образования пузыря:

$$\tau_{\text{и}} = \frac{V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} (h''_{\text{и}} - h'_{\text{и}})}{N - Q_{\text{т пот}}}, \quad (6)$$

где  $h''_{\text{и}}$  – энтальпия насыщенного пара при давлении испарения пузыря;  $h'_{\text{и}}$  – энтальпия насыщенной воды при давлении испарения пузыря.

Давление испарения пузыря равно сумме атмосферного давления и среднего гидростатического давления столба воды в напорной линии (среднее давление – так как высота столба воды изменяется при росте пузыря). Давление конденсации пузыря равно сумме атмосферного давления и среднего гидростатического давления столба воды в напорной линии при конденсации пузыря. Разность энтальпий насыщенного пара при давлениях испарения и конденсации составляет работу пузыря (работу насоса за один цикл).

Период импульсов давления складывается из времени нагрева всосанной порции воды, времени испарения и времени конденсации пузыря:

$$T = \tau_n + \tau_{\text{и}} + \tau_k, \quad (7)$$

где  $\tau_n$  – время нагрева новой порции воды;  $\tau_k$  – время конденсации пузыря.

Время нагрева новой порции воды (объем порции равен объему вытолкнутой воды, то есть объему пузыря):

$$\tau_n = \frac{V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})}{N - Q_{\text{т пот}}} \quad (8)$$

Время конденсации пузыря:

$$\tau_k = \frac{V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot (h''_{\text{к}} - h'_{\text{к}})}{Q_{\text{конд}}} \quad (9)$$

где  $Q_{\text{конд}}$  – мощность теплового потока, передаваемого от пузыря через стенку трубки к окружающей среде, Вт:

$$Q_{\text{конд}} = K \cdot (t_{\text{с}} - t_{\text{ср}}) \cdot F_{\text{к}}, \quad (10)$$

где  $t_{\text{с}}$  – температура насыщения при давлении конденсации пузыря;  $t_{\text{ср}}$  – температура окружающей среды;  $F_{\text{к}}$  – площадь поверхности конденсации;  $K$  – коэффициент теплопередачи.

Период импульсов обратно пропорционален их частоте:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad (11)$$

Зависимости (1)–(11) составляют систему уравнений, описывающих работу насоса.

Критерием работы насоса после решения системы является условие:

$$\Delta P, \text{кПа} \geq H, \text{см} \quad (12)$$

На рис. 1 изображена зависимость расхода от подводимой мощности, полученная в ходе эксперимента и рассчитанная по системе уравнений. На рис. 2 изображена зависимость расхода от высоты подъема воды, основанная на экспериментальных данных и полученная в результате расчета.

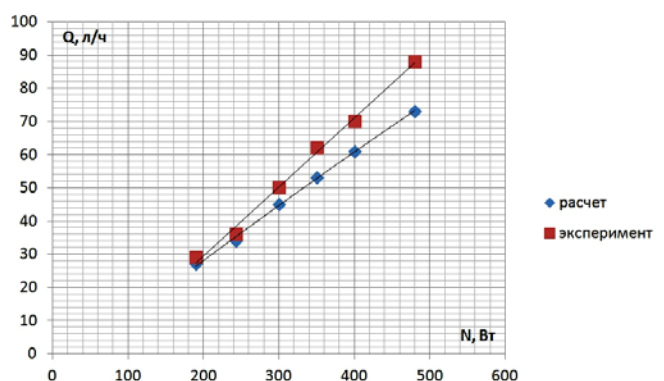


Рис. 1. Зависимость расхода от подводимой мощности

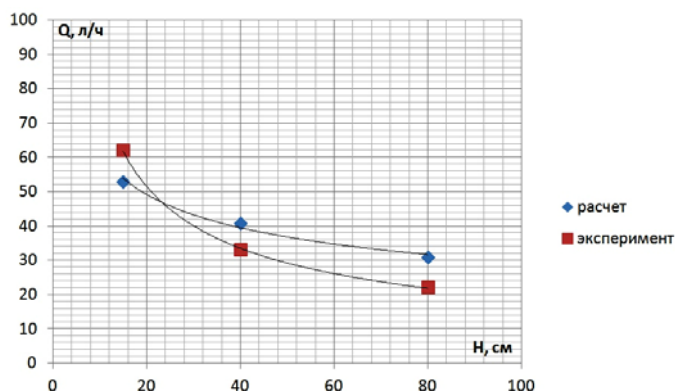


Рис. 2. Зависимость расхода от высоты подъема воды

Как видно из рис. 1 и 2, теоретическая и экспериментальная кривые близки друг к другу. На основании этого можно сделать вывод, что разработанная физическая модель работы термомеханического насоса достоверно описывает процессы, происходящие в насосе. Расхождения между теоретической и экспериментальной кривыми можно объяснить тем, что в физической модели сделан ряд допущений с целью упрощения расчета.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ БЕРЕЗОВСКОГО ВОДОКАНАЛА**

*Осипова Е.С., Попов А.И.  
УрФУ, cvepopov@rambler.ru*

Существенное улучшение экономических и экологических характеристик производства теплоэнергии достигается с помощью теплонасосных установок (ТНУ), позволяющих трансформировать низкотемпературную возобновляемую природную энергию и вторичную низкопотенциальную тепловую энергию до более высоких температур, пригодных для теплоснабжения [1]. Кроме того, применение ТНУ позволяет приблизить тепловые мощности к местам потребления, минимизировать протяженность тепловых сетей, рассредоточить выбросы в регионе и получать в системах отопления 3-8 кВт эквивалентной тепловой энергии в зависимости от температуры низкопотенциальных источников, затрачивая при этом 1 кВт электрической энергии.

ТНУ широко распространены во многих развитых странах мира, поскольку позволяют экономить дорогостоящее топливо и снижать вредное воздействие промышленных объектов на окружающую среду. Они выпускаются и широко используются в США, Японии, Германии, Франции, Швеции, Норвегии и других странах [2].

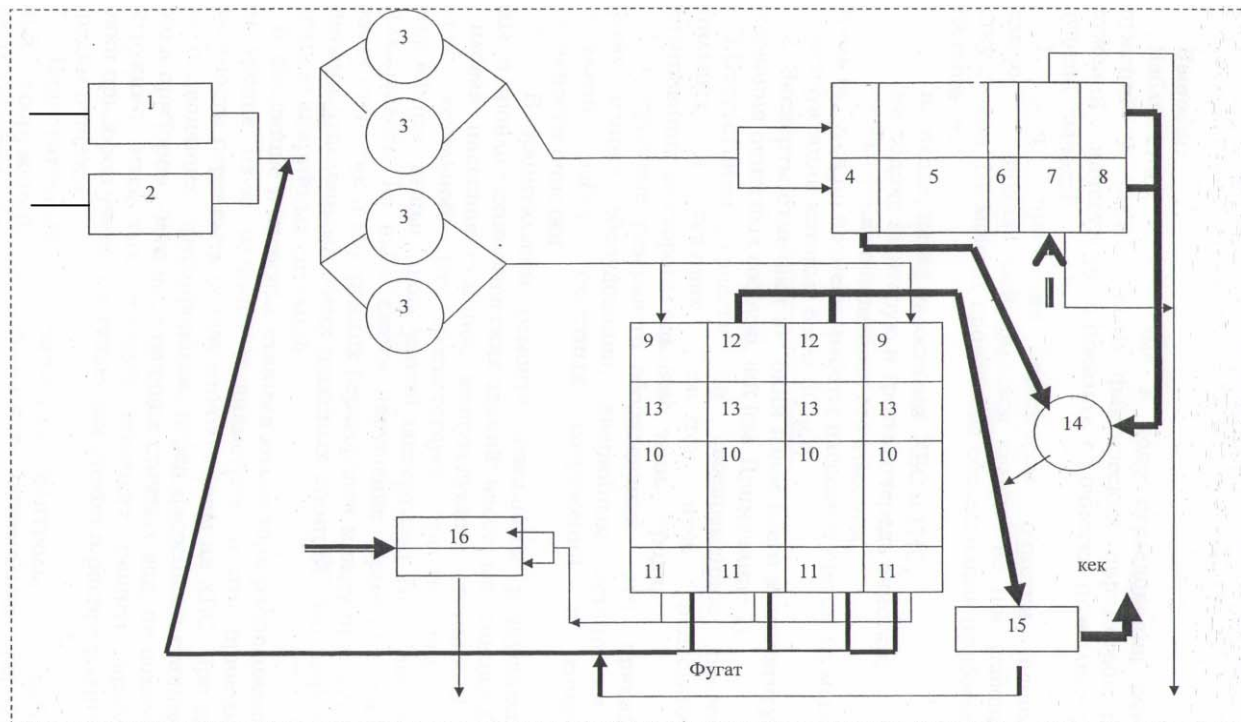
Источником низкопотенциальной теплоты для теплового насоса (ТН) может служить тепло наземных либо подземных грунтовых вод (тепло земли), тепло наружного воздуха, производное (вторичное) тепло. Одним из вторичных энергоресурсов является тепло сточных вод.

В больших городах объемы искусственно организованных канализационных стоков достигают объемов от сотен тысяч до нескольких миллионов кубических метров в сутки. Поскольку трубы канализационных стоков проложены под землей, то температура в них остается практически постоянной в течение всего года. Температура сточных вод летом, в среднем, достигает  $+20^{\circ}\text{C}$ , зимой – не менее  $+10^{\circ}\text{C}$ . Это делает их идеальным источником низкопотенциального тепла для использования в ТН [3].

В данной работе, в качестве примера, рассматривается возможность использования теплового потенциала сбросных вод очистных сооружений для обеспечения работы систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения (ГВС) объектов очистных сооружений МУП БВКХ «Водоканал» г. Березовский, Свердловская область, путем внедрения ТНУ.



На рисунке приведена схема объектов очистных сооружений города Березовский. Суммарная годовая тепловая нагрузка объектов очистных сооружений достигает 9213,84 Гкал/год.



1 - ГНС; 2 - ХБС; 3 - горизонтальные песколовки;

Блок второй очереди: 4 - первичные отстойники (2 шт.); 5 - аэротенки (2 шт.); 6 - вторичные отстойники (2 шт.); 7 - контактные резервуары (2 шт.); 8 - илоуплотнители.

Блок третьей очереди: 9 - первичные отстойники (2 шт.); 10 - аэротенки (4 шт.); 11 - вторичные отстойники (4 шт.); 12 - илоуплотнители (2 шт.); 13 - стабилизаторы (не эксплуатируются - 4 шт.).

14 - иловая насосная станция; 15 - производственный корпус обезвоживания; 16 - контактный резервуар.

—> Сточная вода

—> Хлор

—> Осадок

Схема объектов очистных сооружений города Березовский

В городскую систему канализации поступают хозяйственные стоки от населения и всех предприятий города. Городские очистные сооружения имеют производительность 13 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Очищенные стоки, в зависимости от времени года, имеют температуру от +16 °С до +22 °С [4]. Количество тепловой энергии, которое возможно получить при использовании потенциала сточных вод, находится по формуле:

$$Q = G \cdot \Delta t \cdot C,$$

где  $Q$  – количество тепловой энергии, Гкал/мес.;  $G$  – расход стоков, кг/ч;  $\Delta t$  – градиент температуры, °С;  $C$  – теплоемкость воды, 4,19 кДж/кг °С.

Итоговые результаты расчета теплового потенциала сточных вод очистных сооружений г. Березовский представлены в таблице.



### Тепловой потенциал сточных вод очистных сооружений г. Березовский

| Месяц        | Градиент температуры, используемый ТН $\Delta t$ , °С | Среднесуточный приток сточных вод, м <sup>3</sup> /сут. | Тепловой потенциал сточных вод, Гкал/ч | Тепловой потенциал сточных вод, Гкал/мес. |
|--------------|---|---|--|---|
| Январь       | 10  | 12 961,6  | 5,42                                   | 4030,3                                    |
| Февраль      | 9   | 13 323,8  | 4,99                                   | 3351,3                                    |
| Март         | 10  | 13 101,3  | 5,46                                   | 4062,3                                    |
| Апрель       | 9   | 13 080,3  | 4,91                                   | 3535,2                                    |
| Май          | 8   | 13 077,7  | 4,36                                   | 3243,8                                    |
| Июнь         | 5   | 13 083,7  | 2,75                                   | 1981,1                                    |
| Июль         | 6   | 13 081,9  | 3,28                                   | 2440,3                                    |
| Август       | 7   | 13 148,4  | 3,83                                   | 2849,5                                    |
| Сентябрь     | 9   | 13 131,3  | 4,93                                   | 3549,6                                    |
| Октябрь      | 9   | 13 132,6  | 4,93                                   | 3667,9                                    |
| Ноябрь       | 10  | 13 262,7  | 5,53                                   | 3981,6                                    |
| Декабрь      | 10  | 13 026,5  | 5,43                                   | 4039,9                                    |
| Итого в год: |   |   |  | 40 732,8                                  |

Учитывая то, что на нужды отопления, вентиляции и ГВС очистных сооружений необходимо 9213,84 Гкал/год тепловой энергии, а потенциал сточных вод составляет около 40 732,8 Гкал/год (что примерно в 4,5 раза больше, чем необходимо), то установленная ТНУ, таким образом, может полностью обеспечить теплоснабжение объектов очистных сооружений города Березовский. Оставшуюся тепловую энергию можно передать другим близлежащим объектам по существующим или вновь введенным теплосетям.

Предварительный расчет показал, что для решения проблем теплоснабжения объектов очистных сооружений города Березовский достаточно иметь два ТН (один – резервный) средней тепловой мощности. Один из насосов в летний период, когда тепловая нагрузка на очистных сооружениях минимальна, может временно отключаться. По имеющимся данным, максимальная тепловая нагрузка на очистных сооружениях приходится на январь месяц (817 Гкал/мес. или 1,1 Гкал/ч). Исходя из этой нагрузки, можно выбрать ТН.

Для обеспечения нормальной работы ТНУ достаточно будет использовать два тепловых насоса фирмы ЗАО «Энергия» марки ТН-500 и ТН-1000. Они имеют теплопроизводительность 500 кВт и 905 кВт соответственно, что составляет суммарно 1,21 Гкал/ч.

#### *Библиографический список*

1. Закиров Д.Г. Пути решения проблемы теплоснабжения в коммунальном хозяйстве с использованием тепловых насосов // Новости теплоснабжения. 2002. № 4 (20). С. 53–55.
2. Васильев Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии Земли в теплонасосных системах // Экологические системы. 2008. № 4.
3. Васильев Г.П. О тепловом ресурсе сточных вод и его использовании // Экологические системы. 2012. № 10.
4. Заключение по обследованию сооружений по очистке сточных вод г. Березовский. Инженерная академия, 2007.

## ВАРИАНТ СВЕТООГРАЖДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Русанова А.Е., Попов А.И.  
УрФУ, e-mail: rusalyona@mail.ru*

Заградительные огни предназначены для светового обозначения высотных объектов. Маркировке подлежат неподвижные постоянные и временные препятствия, расположенные на приаэродромной территории и воздушных трассах, а также объекты, расположенные в зонах движения и маневрирования воздушных судов, наличие которых может нарушить или ухудшить условия безопасности полетов. Светоограждению подлежат дымовые трубы, градирни, антенные мачтовые конструкции, столбы и т.п.

Для протяженных препятствий в виде горизонтальных сетей (антенн, линий электропередач и др.), подвешенных между мачтами, заградительные огни устанавливаются на мачтах (опорах) независимо от расстояния между ними [1].

При организации системы светового ограждения опор ЛЭП проектировщики и строители сталкиваются с проблемой обеспечения электропитания заградительных огней.

Получение низковольтного напряжения для питания светоуказателей путём трансформации высокого напряжения ЛЭП невозможно в силу громоздкости сооружения. Кроме того, светоограждение должно происходить круглосуточно, а при обесточивании провода гаснут сами заградительные огни, что может привести к авариям и повреждению системы.

Вариант использования радиоизотопных термоэлектрических генераторов требует особых мер предосторожности и специальных систем охраны, что ведёт к усложнению и удорожанию конструкции [2].

В регионах, с большим количеством солнечной инсоляции, возможно использование автономной системы светоограждения при помощи фотоэлектрических панелей. В северных районах приход солнечной радиации недостаточен, чтобы обеспечить бесперебойное питание заградительных огней. В таком случае целесообразно применение комплексных ветросолнечных установок.

Пик работ по производству электроэнергии у ветровой и солнечной систем приходится на различное время суток и года, и гибридная система, соответственно, производит энергии больше тогда, когда это действительно необходимо. В зимнее время основная выработка электроэнергии приходится на ВЭУ, летом – на ФЭП. Электроэнергия, вырабатываемая ветровой турбиной и солнечными фотоэлектрическими панелями, хранится на аккумуляторных батареях для обеспечения электроэнергией заградительных огней в темное время суток и в условиях слабой видимости [3].

Газо-жидкотопливный генератор может использоваться в качестве резервного источника электроснабжения в безветренную пасмурную погоду. От генератора также можно осуществлять форсированный заряд аккумуляторной батареи, если она разрядилась до опасного уровня. Это требует постоянного обслуживания и контроля.

На кафедре Атомные станции и возобновляемые источники энергии рассматривается вопрос совместного использования солнечной электрической панели и гирляндной ВЭУ в комплекте с аккумуляторными батареями.

Расчёты показывают, что для условий г. Екатеринбурга солнечной панели  $S = 1 \text{ м}^2$  достаточно для обеспечения электропитания световых указателей в весенне-летний период.

Потребляемая мощность светодиодного заградительного огня 10 Вт. Комплект для одной опоры должен состоять как минимум из двух ламп [1]. Таким образом, при работе огней 12 часов в сутки потребляемая мощность составляет  $P_{\text{потр.}} = 10 \cdot 2 \cdot 12 = 240 \text{ Вт} \cdot \text{ч/сутки}$ . ФЭП, установленная под углом  $56^\circ$ , вырабатывает в среднем  $P_{\text{ФЭПсут.}} = 0,43 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сутки}$ . В период с недостаточной солнечной инсоляцией нагрузка покрывается за счёт ветроэнергетической установки.

На кафедре АСиВИЭ разработан проект гирляндной ВЭУ установленной мощностью 0,3 кВт. Преимущество её в большой площади ометаемой поверхности, что даже при небольшой скорости ветра позволяет получать необходимую электроэнергию [4].

#### *Библиографический список*

1. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ-94).
2. Рылов М.И., Тихонов М.Н. Проблемы радиационной безопасности при обращении с радиоизотопными термоэлектрическими генераторами // Атомная стратегия. Санкт-Петербург. 2003. № 1 (6). С. 32.
3. Велькин В.И. Энергообеспечение удалённых сельских районов на базе кластеров ВИЭ // Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий: Тезисы научно-практической конференции, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 19–20 марта 2013 г.
4. Розин Михаил Николаевич. Ветрогирлянды. Рубрика: Энергия ветра [Электронный ресурс]. URL: <http://rosinmn.ru>.

## **УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

*Сироткин Е.А., Соломин Е.В.*

*Южно-Уральский государственный университет  
ea.sirotkin@gmail.com*

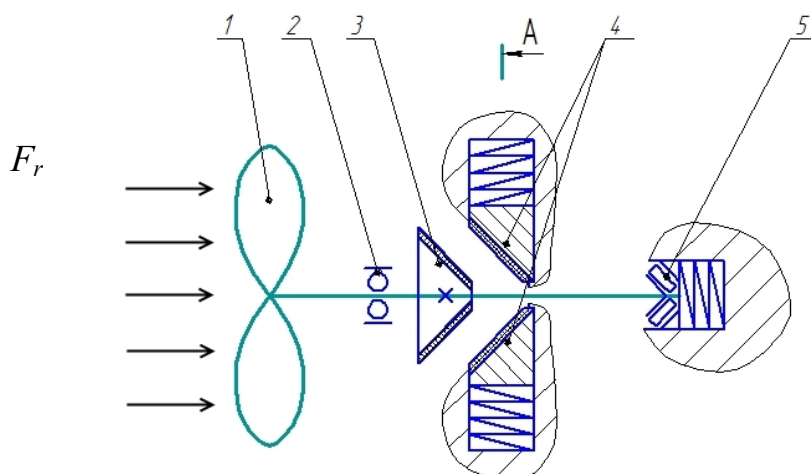
Из мировой практики использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) известно, что при скорости ветра выше номинальной (20...30 м/с) под действием центробежной силы возникает риск разрушения ветроколеса. Для предотвращения разрушения ветроколеса необходимо регулировать частоту вращения. Существует два способа регулирования: аэродинамический и электромеханический [1].

Наиболее распространенным электромеханическим способом торможения ветроколеса является система, которая разворачивает лопасти, тем самым изменяя угол атаки набегающего потока ветра. Недостатками такого способа торможения являются простота при сильных ветрах и необходимость дополнительных затрат электроэнергии для питания следящей системы.

Наиболее близким к предлагаемому устройству является устройство ограничения мощности путем регулирования разницы вращающих моментов на валу ветроколеса и выходном валу [2]. Суть данного устройства заключается в снятии мощности с вала ветроколеса с помощью зубчатого зацепления. В данной статье представлено устройство автоматического торможения для горизонтально-осевых ВЭУ, применение которого позволяет повысить энергетическую эффективность ВЭУ.

Предположим, что на вал ротора (поз. 1) воздействует воздушный поток с силой  $P$ , как показано на рис. 2. Вал может перемещаться в осевом направлении под воздействием силы  $P$ , опираясь на радиальный подшипник (поз. 2) и на подпружиненный роликовый конический подшипник (поз. 5). Также на валу ротора имеется жестко закрепленный фрикционный конус (поз. 3), который при смещении вала в осевом направлении вправо контактирует с подпружиненными фрикционными блоками (поз. 4), тем самым возникает трение между конусом и блоками. За счет возникающей силы трения частота вращения ротора снижается, при этом, чем больше по величине усилие  $P$ , тем сильнее конус прижимается к тормозящим блокам и тем больше становится тормозящая сила трения.

Рис. 1. Устройство автоматического торможения ВЭУ



Пружина роликового конического подшипника выбирается, исходя из расчета максимально допустимой скорости ветра  $V_{nom}$ , и рассчитывается по следующей формуле [3]:

$$F_{sp} = k \cdot x = F_r, \quad (1)$$

где  $F_r$  – сила, с которой набегающий поток ветра воздействует на ротор,  $k$  – коэффициент упругости пружины,  $x$  – относительное перемещение пружины (или зазор между конусом и блоками).

При допустимой скорости ветра вал ротора под воздействием набегающего потока ветра перемещается по оси на такое расстояние, что фрикционный конус не доходит до точки контакта с фрикционными блоками. Но как только скорость ветра превышает номинальное значение, конус на валу достигает точки контакта с блоками, возникает сила трения и происходит механическое торможение.

Известно, что  $F_r \sim V_{wind}$  [4], следовательно, чем выше будет скорость ветра, тем сильнее будет продавливаться вал в осевом направлении и тем сильнее будет давление конуса на тормозные блоки (увеличивается сила трения).

Сила трения, возникающая при соприкосновении дисков:

$$F_{fr} = \mu \cdot (F_r - F_{sp}) = \mu \cdot (F_r - kx), \quad (2)$$

причем в данном случае  $kx = const$ , т. к. конус будет перемещаться всегда на одно и то же расстояние, а затем упираться в тормозной блок (рис. 2).

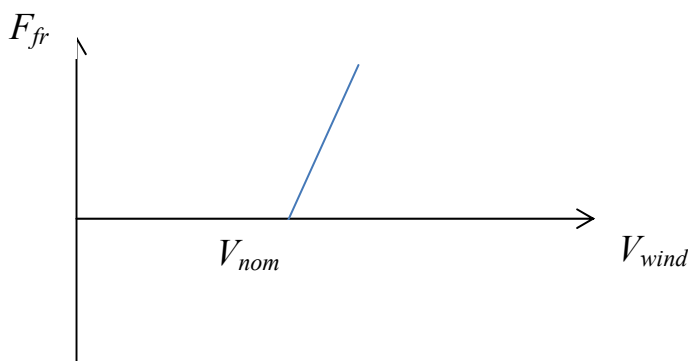


Рис. 2. График зависимости силы трения от скорости ветра

Сила трения возникает только при номинальной скорости ветра ( $V_{nom}$ ), когда ветер обладает достаточным усилием, чтобы продвинуть вал ротора до точки контакта дисков.

$$F_{nom} = k \cdot x_{cont},$$

$F_{nom}$  — сила, с которой ветер воздействует на ветроколесо при своей номинальной скорости;  $x_{cont}$  — расстояние, на которое продвигается вал ротора от исходной точки до точки контакта.

Со временем колодки будут истираться, и контакт между ними и конусом станет неплотным при номинальных скоростях ветра, это может привести к недостаточному торможению вала ротора и последующему разрушению лопастей. Для того чтобы это предотвратить, тормозные фрикционные блоки подпружинены в радиальном направлении относительно оси вала. По мере истирания фрикционной поверхности тормозного блока, пружина будет подталкивать его к центру оси вращения вала, тем самым обеспечивается постоянный контакт трущихся поверхностей.

В качестве фрикционного материала следует применять асботекстолит, он является одним из наиболее эффективных материалов в тормозных системах при относительной дешевизне [5].

Преимущества предложенного устройства:

- 1) эффективная работа ВЭУ даже при больших скоростях ветра;
- 2) простота конструкции, относительная дешевизна деталей и материалов, малое число передаточных звеньев, высокая надежность;
- 3) возможность работы в автономном режиме в течение длительного времени за счет подпружиненных тормозных блоков.

#### Библиографический список

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Изд. 2-е доп. СПб.: Наука, 2013. 308 с.
2. Способ управления ветроэнергетической установкой и устройство для его осуществления: пат. 2312249 Российская Федерация: МПК F03D7/04 / Смирнов А.В., № 2005117246/06, 07.06.2005
3. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для техн. спец. вузов. 6-е изд., исп. М.: Высш. шк., 2000. 477 с.

4. Безруких П.П., Безруких П.П. (младший). Ветроэнергетика. Вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов. М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации; Центр экологической политики России, 2011. 74 с.
5. Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2007. 446 с.

## ОЦЕНКА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ СВОБОДНОПОТОЧНОЙ ГЭС НЕВЬЯНСКОГО ГИДРОУЗЛА

*Совкова К.Е., Попов А.И., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, e-mail: belovochka08@rambler.ru*

Невьянский гидроузел находится на р. Нейве в г. Невьянске и был построен в 1696 г. В состав гидроузла входят: земляная плотина и водосбросное сооружение (открытый щитовой водосброс, совмещенный с водозаборным сооружением). Невьянское водохранилище предназначено для производственного водоснабжения ОАО «Невьянский механический завод», нецентрализованного водоснабжения населения, любительского рыболовства, как противопожарный водоем, а также для культурно-оздоровительных и рекреационных целей. Над водосбросными сооружениями Невьянского водохранилища расположено здание Невьянского филиала УрФУ (рис. 1).



Рис. 1. Здание  
Невьянского филиала  
УрФУ

Водный режим р. Нейва характеризуется четко выраженным весенним половодьем, летне-осенней меженью. По предварительным оценкам в зависимости от времени года и состояния водоема полезно использовать мощность потока через мини ГЭС.

Данные по стоку р. Нейвы в створе гидроузла

|                                  | I    | II   | III  | IV    | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|----------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$        | 3,98 | 4,01 | 5,27 | 10,33 | 6,73 | 5,02 | 3,13 | 2,71 | 2,91 | 2,67 | 3,05 | 2,64 |
| $V_{\text{сброса}}, \text{ м/с}$ | 2,55 | 2,57 | 2,37 | 2,73  | 2,49 | 2,39 | 2,9  | 3,23 | 3,03 | 3,18 | 2,99 | 3,14 |

Валовая мощность при плотинной схеме использования определяется по формуле [1]:

$$P_i = 9,8 Q_i h, \text{ кВт},$$

где  $h$  – высота плотины ( $h=7,2\text{м}$ ),  $Q$  – расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Мощность при свободопоточной схеме использования [2, 3]:

$$N = \frac{v^3}{2} F, \text{ кВт},$$

где  $v$  – скорость течения потока воды, м/с;  $F$  – площадь поперечного сечения русла реки, м<sup>2</sup>.

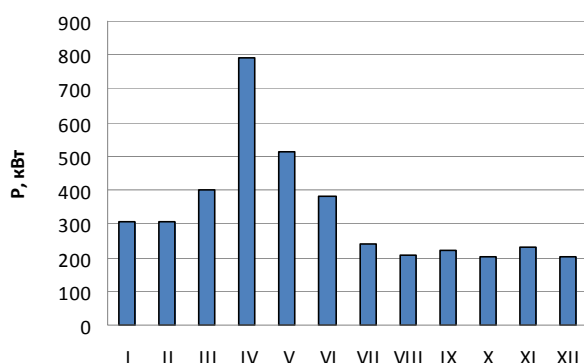


Рис. 2. Месячное изменение мощности приплотинной схемы

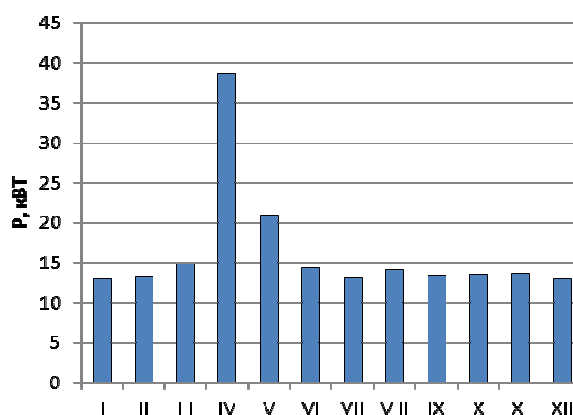


Рис. 3. Месячное изменение мощности свободопоточной схемы использования

### Выводы

1. Водноэнергетический расчет показал, что гидроэнергетический потенциал Невьянского гидроузла значительный и может быть использован для энергоснабжения филиала УрФУ, годовое потребление которого составляет свыше 100 кВт·ч.

2. Бесплотинная схема позволяет получить существенно меньшую мощность на одном агрегате, чем плотинная. Однако по длине русла реки с заданным интервалом возможна последовательная установка ряда агрегатов для получения большей суммарной мощности.

### Библиографический список

1. Блинов Б.С. Гирляндные ГЭС. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 64 с.
2. Щеклеин С.Е. Мини- и микрогидроэлектростанции. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999. 103 с.
3. Кажинский Б.Б. Свободнопоточные гидроэлектростанции малой мощности. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1950. 76 с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ОКИСЛЯЮЩИХ ГАЗОВЫХ СРЕД НА СКОРОСТЬ АЭРОБНОГО РАСПАДА БИОМАССЫ

Тарабукин И.В., Барабанова Ю.А., Немихин Ю.Е., Щеклеин С. Е.  
УрФУ, s.e.shcheklein@urfu.ru

В данной работе поставлена задача по исследованию воздействий различных составов окисляющих сред на процесс разложения твердых пищевых отходов. Исходное сырье – пищевые отходы (картофельные и фруктовые очистки, луковая шелуха, кусочки оливок и хлеб). В качестве затравки использовалось слегка забродившее черничное варенье. Подготовленный субстрат был измельчен до состояния мелких частичек для удобства его погружения в установку. Полученная масса была залита водой и тщательно перемешана в сосуде объе-



мом 1 литр. Фактический объем сырья в установке составил 0,8 литра. В эксперименте использовалось 4 установки, одна из которых была контрольная – имела прямой доступ воздуха. В остальные 3 установки подавался газ (озон, кислород и воздух соответственно). В таком состоянии установки находились в стационарном режиме в течение длительного (до 30 дней) периода времени. Схема установки приведена на рис. 1.

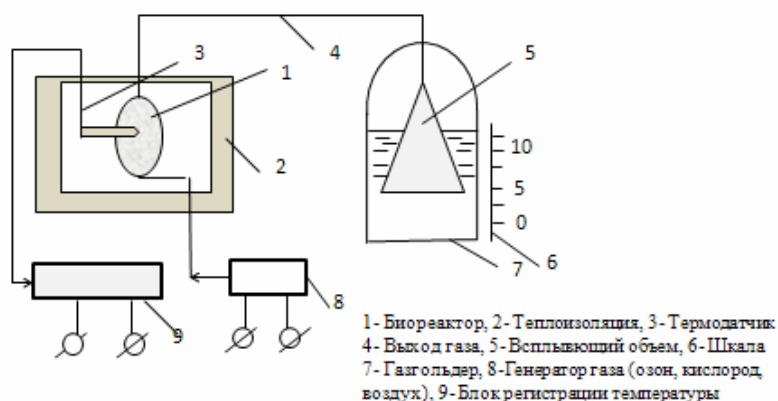


Рис. 1. Схема экспериментальной установки аэробного сбраживания

Исследовался процесс аэробного разложения твердых бытовых отходов с образованием углекислого газа и выделением теплоты.

В ходе эксперимента измерялся объем образовавшегося газа и температура в биореакторе.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2 и 3.

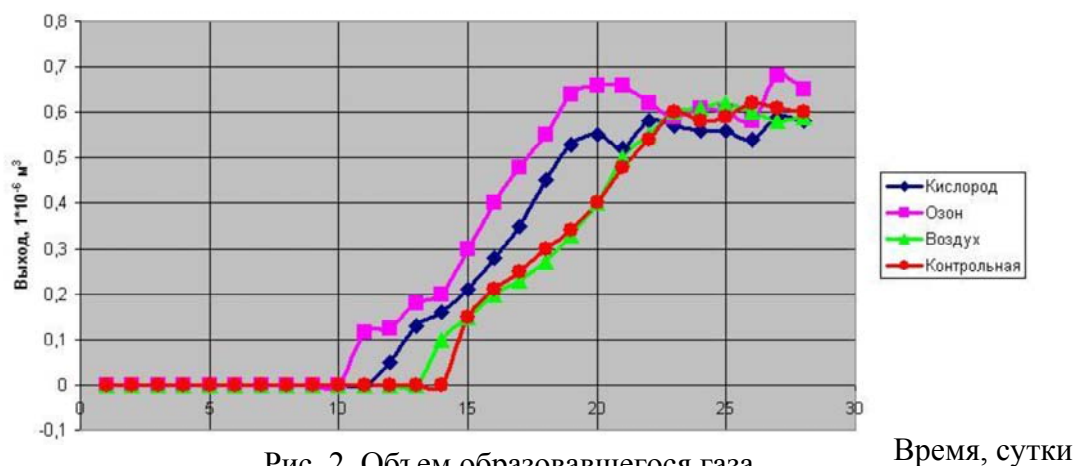


Рис. 2. Объем образовавшегося газа

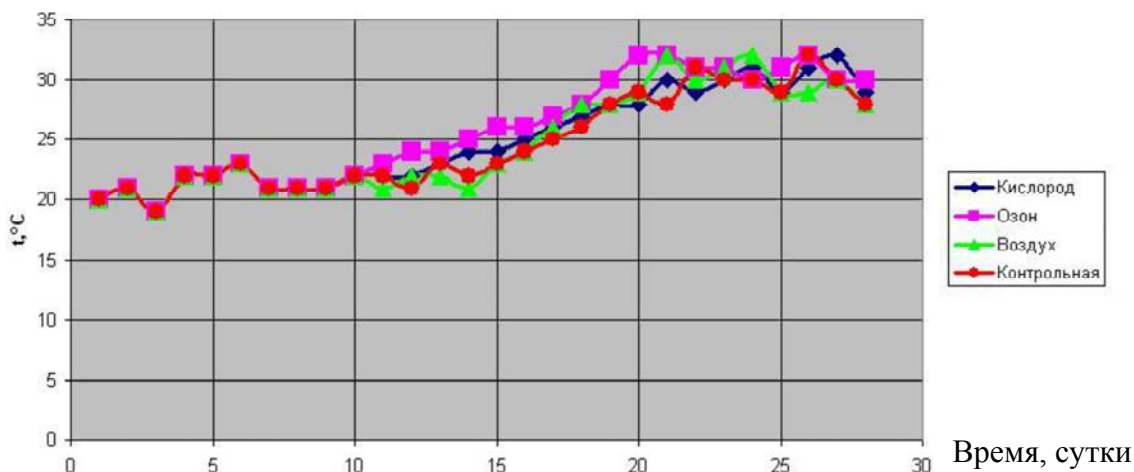


Рис. 3. Изменение температуры в процессе аэробного разложения



Из рисунков видно, что контрольная установка и установка с подачей воздуха ведут себя одинаково – газовыделение начинается через 12 суток.

При использовании озона и кислорода ситуация меняется. Установка под воздействием кислорода встает на режим через 11 суток, а озона через 10 суток. То есть можно сказать, что предобработка субстрата кислородом и озоном ускоряет его разложение на 8,7 % и 17,6 % соответственно.

#### *Выводы*

Анализ полученных результатов позволяет предположить, что способ обработки субстрата газовыми окислительными атмосферами существенно ускоряет скорость его разложения.

#### *Библиографический список*

1. Gates D.D., Siegnst R.L. Laboratory evaluation of chemical oxidation using hydrogen peroxide II // Report from The X-231 Bproject for in Situ treatment of phys-icochemical process coupled with soil mixing. Tennessee, 1993.
2. Gates D.D., Siegust R.L., Clme S.R. Laboratory evaluation of the in Situ chemical oxidation of volatile and semi-volati/e organic compounds us/ng hydrogen peroxide and potassium permanganate II. Tennessee, 1994.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В БИОГАЗОВОЙ СИСТЕМЕ БГС-1 С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ**

*Трифонов В.Д., Ткачев В.К., Трубицын К.В.  
Самарский государственный технический университет  
tef-samgtu@yandex.ru*

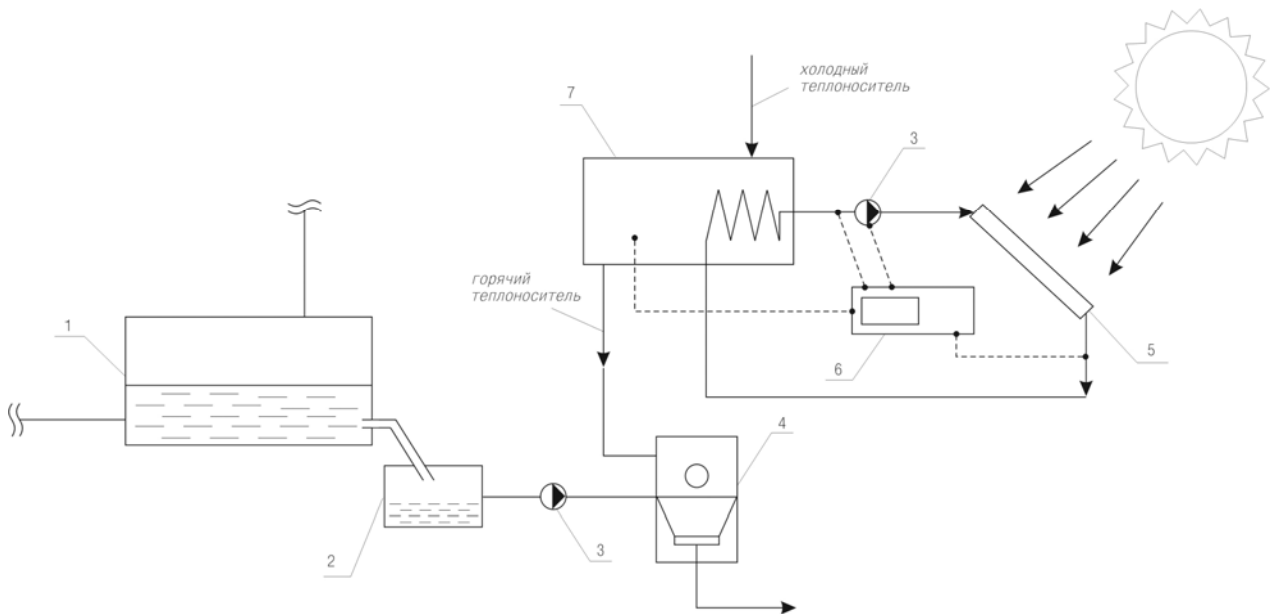
Биогазовая система БГС-1, подробное описание и проектирование которой представлено авторами в [1], состоит из метантенка (реактора), газгольдера, систем загрузки и выгрузки, устройства смешения, выпускного газопровода, а также дополнительных элементов системы, предназначенных для хранения газа, производства тепла и т.д. Для наиболее эффективной ферментации БГС-1 дополняется устройствами теплообмена, в которых в качестве теплоносителя используется вода, подогретая до 50-60 °С.

В текущем исследовании авторы попытались произвести расчет выработанного при помощи солнечного коллектора необходимого количества энергии, предназначенной для сушки продуктов переработки биомассы после анаэробного сбраживания в метантенке. Таким образом, существующую схему биогазовой системы БГС-1 (рисунок) дополним еще одним элементом – сушильной установкой 4 с применением солнечного коллектора 5.

Для получения концентрированных сухих органических удобрений (влажность не более 15 %) необходимо испарить минимум 65 % воды из оставшихся после выделения биогаза продуктов переработки биомассы (далее – продукты переработки). Для этого необходимо нагреть продукты переработки с 30 °С до температуры кипения воды (100 °С). При этом необходимое для нагрева воды количество теплоты можно определить по формуле (1):

$$Q_1 = C_{\text{ом}} \cdot m \cdot (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $Q_1$  – количество теплоты, необходимое для нагрева биомассы до температуры  $100^\circ\text{C}$  [Дж];  $C_{\text{бм}}$  – средняя теплоемкость биомассы [Дж/(кг·гр.)];  $m$  – масса продуктов переработки биомассы [кг];  $t_2$  – температура кипения воды ( $t_2 = 100^\circ\text{C}$ );  $t_1$  – начальная температура продуктов переработки биомассы.



Включение сушильной установки с применением солнечного коллектора в схему биогазовой системы БГС-1:

1 – метантенк (реактор); 2 – резервуар для продуктов переработки биомассы; 3 – насос; 4 – сушильная установка; 5 – солнечный коллектор; 6 – микропроцессор; 7 – теплообменник

Помимо теплоты, необходимой для нагрева продуктов переработки до температуры кипения воды, требуется учесть то количество теплоты, которое пойдет на перевод воды в газообразное состояние (пар). Такое количество теплоты можно определить по формуле (2):

$$Q_2 = r \cdot 0,65m, \quad (2)$$

где  $Q_2$  – количество теплоты, требуемое для перевода воды в пар [Дж];  $r$  – теплота парообразования воды [Дж/кг];  $m$  – масса продуктов переработки биомассы [кг];  $0,65$  – массовая доля воды, требуемой к испарению.

Следовательно, общее количество теплоты, которую необходимо сообщить продуктам переработки для получения сухих концентрированных органических удобрений составляет

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (3)$$

Рассчитаем по формулам (1) – (3) количество теплоты  $Q$ , необходимое для получения сухих концентрированных органических удобрений влажностью 15 % из 1 кг продуктов переработки.

Учитывая, что средняя теплоемкость продуктов переработки биомассы  $C_{\text{бм}} = 4100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , а их начальная температура  $t_1 = 30^\circ\text{C}$

$$Q_1 = 4100 \cdot 1 \cdot (100 - 30) = 287000 \text{ Дж} = 287 \text{ кДж}.$$

Зная теплоту парообразования воды ( $r = 2260$  кДж/кг), определим теплоту парообразования  $Q_2$ :

$$Q_2 = 2260 \cdot 0,65 \cdot 1 = 1469 \text{ кДж}.$$

Общее количество теплоты

$$Q = 287 + 1469 = 1756 \text{ кДж}.$$

Следовательно, для того, чтобы из 1 кг продуктов переработки получить сухие концентрированные органические удобрения, потребуется 1756 кДж теплоты.

Рассмотрим возможность применения солнечного коллектора в устройстве сушильной установки.

Для этого предположим, что опытная биогазовая система БГС-1 производит 300 кг продуктов переработки биомассы за месяц (или 105 кг сухих концентрированных органических удобрений). Следовательно, суточный выход продуктов переработки составляет 10 кг (или 3,5 кг сухих удобрений). Для получения такого количества удобрений за один день необходимо затратить 15 885 кДж теплоты.

Используя для выработки данного количества теплоты современные солнечные коллекторы, можно рассчитать их необходимую мощность [2].

$$N_{\text{мес}} = E_{\text{инс}} \cdot S_{\text{тр}} \cdot \eta, \quad (4)$$

где  $N_{\text{мес}}$  – мощность, вырабатываемая одной трубкой солнечного коллектора за месяц;  $E_{\text{инс}}$  – месячная (среднегодовая) инсоляция квадратного метра (из таблицы инсоляции);  $S_{\text{тр}}$  – площадь поглощения одной трубки солнечного коллектора;  $\eta$  – коэффициент полезного действия солнечного коллектора (~80 % при использовании вакуумных трубок).

$$N_{\text{мес}} = 87 \cdot 0,15 \cdot 0,8 = 10,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, получили месячную выработку энергии солнечным коллектором, используя следующие данные:  $E_{\text{инс}} = 87 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  (для средней полосы России; рассчитана как среднегодовая величина инсоляции за один календарный месяц);  $S_{\text{тр}} = 0,15 \text{ м}^2$  – площадь поглощения одной вакуумной трубки солнечного коллектора *Дача-1/15. FT-XF-II-15*;  $\eta = 0,8$  [2].

Значение  $N_{\text{мес}} = 10,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  соответствует 0,35 кВт·ч энергии в день, что равно 1 260 кДж. Такую энергию позволяет вырабатывать одна трубка солнечного коллектора *Дача-1/15. FT-XF-II-15*.

Сопоставляя полученную энергию с количеством теплоты, необходимым для получения заданного количества сухих концентрированных органических удобрений, делаем вывод, что для этого следует использовать солнечный коллектор *Дача-1/15. FT-XF-II-15* с 15 вакуумными трубками.

#### Библиографический список

1. Ткачев В.К. Проектирование биогазовой системы для предприятий сельского хозяйства Самарской области / В.К. Ткачев, Г.И. Бородинов, К.В. Трубицын // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сб. материалов Всерос. студ. олимпиады, научно-практ. конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С.
2. Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. URL: <http://suncollector.ru>.

## **In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

*Туленин С.С., Марков В.Ф.  
УрФУ, stast1989@mail.ru*

На сегодня особое внимание уделяется широкозонным материалам, которые нашли широкое применение в области опто- и микроэлектроники, как замена дорогостоящего кремния. Наглядным примером такого перспективного материала может служить сульфид индия In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Благодаря ряду уникальных электрофизических свойств, таких как высокая поглощающая способность, *n*-тип проводимости, значительная ширина запрещенной зоны (2,03 эВ), повышенная радиационная устойчивость и нетоксичность, он широко используется в качестве окна для солнечных элементов, заменяя, таким образом, неэкологичный на данный момент CdS.

Известно, что In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> относится к слоистым материалам с дефектной структурой. Благодаря этому In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> является одним из составляющих такого эффективного материала для солнечных преобразователей как CuInS<sub>2</sub> (кпд которого составляет около 14 %). Однако получение сульфида индия является не простой задачей.

На сегодня известны такие методы осаждения In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> в виде тонких пленок, как распыление раствора тиомочевинного комплекса соли индия(III) с последующим его пиролизом на нагретой подложке, сульфидизация слоя металла в атмосфере сероводорода H<sub>2</sub>S, вакуумное термическое испарение, химическое осаждение из паровой фазы и послойная атомная эпитаксия.

Однако все перечисленные выше методы имеют существенные недостатки, к числу которых можно отнести использование высоких температур, наличие вакуума, повышенная частота исходных соединений, сложность прогнозирования и подбора условий осаждения, а в некоторых случаях и многостадийность процесса. Большинство подобных недостатков лишены современные мягкохимические методы, к числу которых относится гидрохимическое осаждение. Наряду с низкотемпературностью (температура синтеза составляет менее 373 К), простотой аппаратного оформления и частотой, метод гидрохимического осаждения тонких пленок является недорогим и наиболее эффективным. Именно поэтому в последние годы к нему проявляют повышенный интерес во всем мире.

В ходе обширной экспериментальной работы были проведены термодинамические расчеты граничных условий образования In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> при осаждении тиоацетамидом и тиокарбамидом. На основе данных расчетов был сделан вывод, что тиоацетамид является наиболее оптимальным халькогенизатором в области pH от 1 до 12. Согласно расчетам методом химического осаждения из водных сред были получены наноструктурированные пленки In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> на ситалловых подложках из раствора, содержащего нитрат индия, тиоацетамид, винную кислоту и гидроксиламин солянокислый. Установлено, что изменение толщины слоев от концентраций реагентов носит экстремальный характер. Максимальная толщина пленки In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> составила 3,6 мкм. Рентгеновской дифракцией определена ку-

бическая структура образовавшегося сульфида индия с параметром решетки  $a$ , равным 1,0734 нм. Согласно РФЭС (XPS) данным в поверхностных слоях пленок присутствуют примеси кислород- и углеродсодержащих соединений в виде различных органических загрязнений и окислов. Травление полученных пленок аргоновым пучком на глубину 12 нм подтвердило образование соединения состава  $\text{In}_2\text{S}_3$  при отсутствии примеси кислорода и углерода. С повышением температуры синтеза происходит существенное изменение морфологии осажденных слоев и увеличение размеров кристаллитов от 70 до 150 нм. Отжиг при температуре 573 К приводит к оплавлению агрегатов кристаллитов и вхождению в состав пленок  $\text{In}_2\text{S}_3$  до 8,5 ат. % кислорода.

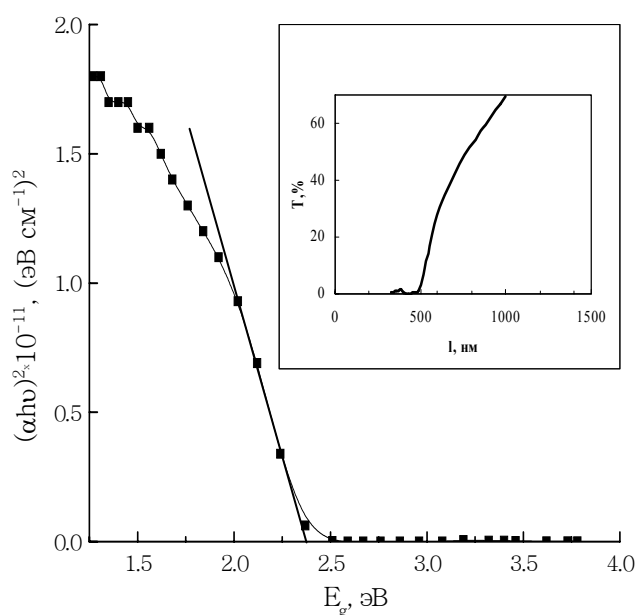
Измерение оптических свойств и пропускания пленок  $\text{In}_2\text{S}_3$  проводилось в области от 300 до 1000 нм. Для этого были получены слои на фотостекле при тех же условиях, что и пленки на ситалле, толщиной около 300 нм. Слои сульфида индия показали высокий процент пропускания в видимой области спектра (до 70 %), что говорит о качественной незагрязненной поверхности (рисунков справа, на вставке).

По соотношению Бардина для определения края поглощения, коэффициент поглощения материала  $\alpha$  связан с энергией падающих на него фотонов  $h\nu$  следующим уравнением:

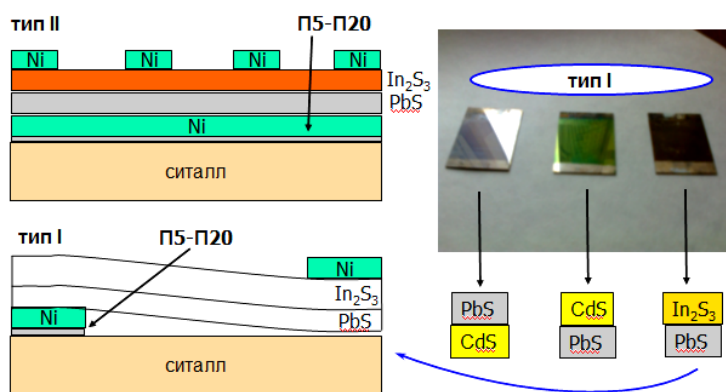
$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n,$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от пропускающей способности пленки и ее толщины  $d$ ;  $E_g$  – оптическая ширина запрещенной зоны;  $n$  – коэффициент, равный 0,5 для прямого перехода в случае  $\text{In}_2\text{S}_3$ .

Согласно вышеприведенному уравнению, была построена зависимость величины  $(\alpha h\nu)^2$  от энергии падающих фотонов  $h\nu$ . Проекция касательной к построенному графику на ось абсцисс определила значение оптической ширины запрещенной зоны  $E_g$  для тонкой пленки  $\text{In}_2\text{S}_3$ , величина которой для свежесоздаваемых образцов составила 2,35 эВ, что вполне соответствует литературным данным. Увеличенное значение оптической ширины запрещенной зоны по сравнению с 2,03 эВ для объемного материала  $\text{In}_2\text{S}_3$  можно объяснить меньшим размером гранул (до 70 нм при толщине порядка 300 нм) пленки и возникновением на них квантово-размерных эффектов с одной стороны, и химическим составом пленки с другой. Согласно проведенным EDX и XPS исследованиям на поверхности пленок содержится кислород, который свидетельствует о наличии на поверхности окисного слоя, включающего, в том числе и  $\text{In}_2\text{O}_3$ , который в свою очередь увеличивает значение  $E_g$ , сдвигая край поглощения в коротковолновую область спектра.



Конечной целью работы стало создание действующих гетероструктур (ГС) в качестве солнечных преобразователей на основе синтезированных пленок сульфидов с целью их сравнения и выявления наиболее лучшей. На данный момент были исследованы три вида ГС, созданных по типу I (рисунок справа), когда на подложечный материал – ситалл – последовательно наносился нижний односторонний никелевый контакт поверх него слой узкозонного материала (такого как PbS), а затем слой широкозонного (CdS,  $\text{In}_2\text{S}_3$ ). В конце наносился верхний Ni-контакт. Справа приведено изображение границы верхнего контакта и пленки сульфида индия. Данный тип ГС, однако, является менее эффективным в сравнении с типом II, где нижний и верхний контакт существенно отличаются. Измерение основных характеристик полученных ГС до и после сушки (при 361 К в течение 240 мин) выполнялось на установке УКИ-1. Площадь отдельного элемента составила  $4,8 \text{ см}^2$ . Данные измерений представлены в таблице.



| Опыт        | Переход                                | Электрофизические свойства |        |        |       |
|-------------|--|----------------------------|--------|--------|-------|
|             |  | I, мА                      | U, мВ  | R, Мом | C, нФ |
| Лампа 75 Вт |  |                            |        |        |       |
| 1           | CdS-PbS(м*)                            | <0,01                      | 0,9    | 3,3    | -     |
|             | CdS-PbS(с**)                           | <0,01                      | 40     | 6,4    | 0,08  |
| 2           | PbS-CdS(м)                             | <0,01                      | 1,5    | 0,011  | 0,03  |
|             | PbS-CdS(с)                             | 0,01                       | 100    | 0,0    | 0,01  |
| 3           | PbS-In <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (м) | ?                          | ?      | ?      | ?     |
|             | PbS-In <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (с) | <0,01                      | 190    | 40     | 0,07  |
| Солнце      |  |                            |        |        |       |
| 1           | CdS-PbS(с)                             | <0,01                      | 38     | 6,2    | 0,083 |
| 2           | PbS-CdS(с)                             | 0,01                       | 15/120 | 1,2    | 0,088 |
| 3           | PbS-In <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (с) | <0,01                      | 80/150 | 40     | 0,071 |

\* мокрый, \*\* сухой, х/у - слабое /сильное солнечное освещение

Из таблицы видно, что лучшими характеристиками среди различных ГС обладает PbS- $\text{In}_2\text{S}_3$ , что еще раз подтверждает перспективность  $\text{In}_2\text{S}_3$ . Основными проблемами создания хороших ГС являются синтез качественных слоев и нанесение равномерных контактов, как нижнего, так и верхнего, по типу II.

## ВНЕДРЕНИЕ В ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПЕРВОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА УрФУ

Федотов Д.С., Велькин В.И., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, v.i.velkin@ustu.ru

Согласно Директиве Евросоюза, с 2020 г. в Европе предполагается строительство домов только нулевого энергопотребления. Причем, энергосберегающий вектор всерьёз рассматривается не только такими странами, как Германия или Дания, но и близкими к России по уровню ГСОП (градусо-суток отопительного периода) Финляндией, Швецией с показателем ГСОП, равным 5500-7000.

В Российской Федерации постепенно появляется понимание необходимости использования тепловых насосов (ТН), однако, широкого внедрения ТН-технологий до сих пор нет. Основная причина низкого интереса к ТН (помимо незнания технических принципов функционирования), до последнего времени – отсутствие явных экономических преимуществ по сравнению с классическими схемами теплообеспечения. Однако ввиду постоянно растущей стоимости тепловой энергии преимущества ТН становятся всё ощутимее для потребителей. Так, если в 2004 г. 1 м<sup>3</sup> природного газа для населения стоил 75 коп., то в 2013 г. цена его выросла до 3,25 руб./м<sup>3</sup> (рост за 10 лет в 4,5 раза). В этой связи ТН становится все более конкурентоспособным по сравнению с газовым отоплением.

Для исследования эффективности ТН при различных режимах работы в УрФУ на кафедре АЭСИВИЭ смонтирован ТН мощностью 6,5 кВт. Цель – использование ТН в лабораторном практикуме студентов, обучающихся по магистерской программе, а также для проведения экспериментальных исследований. Принципиальная схема системы с ТН представлена на рис. 1.

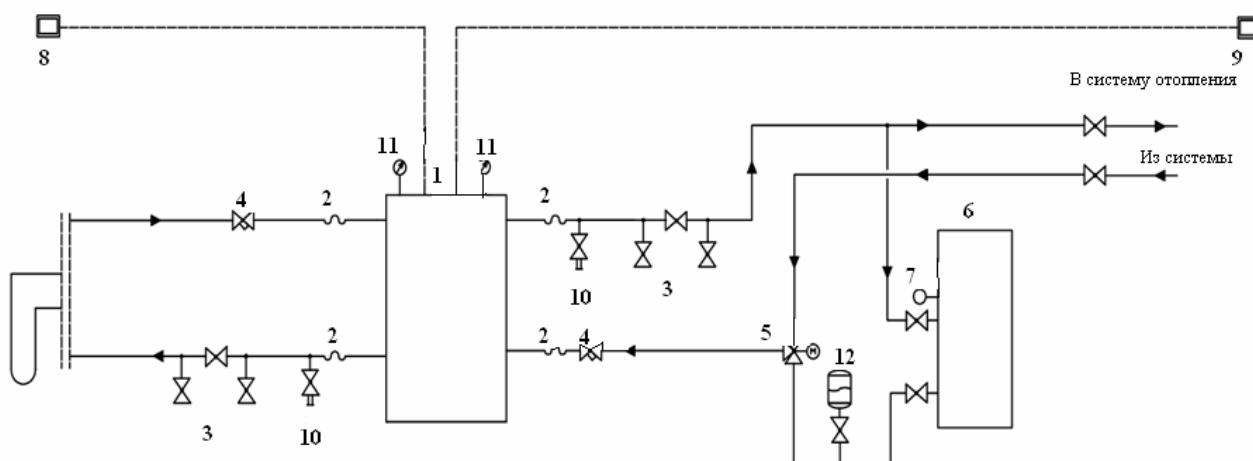


Рис. 1. Схема подключения оборудования системы с тепловым насосом:

- 1 – тепловой насос «Waterkotte»; 2 – гибкий шланг; 3 – сливной кран; 4 – фильтр;
- 5 – регулирующий клапан с электрофильтром; 6 – бак-аккумулятор; 7 – термометр;
- 8 – датчик температуры наружного воздуха; 9 – датчик температуры внутреннего воздуха;
- 10 – кран для заполнения системы; 11 – манометр; 12 – мембранный бак



Внешний вид расположения оборудования теплонасосной установки представлен на рис. 2.

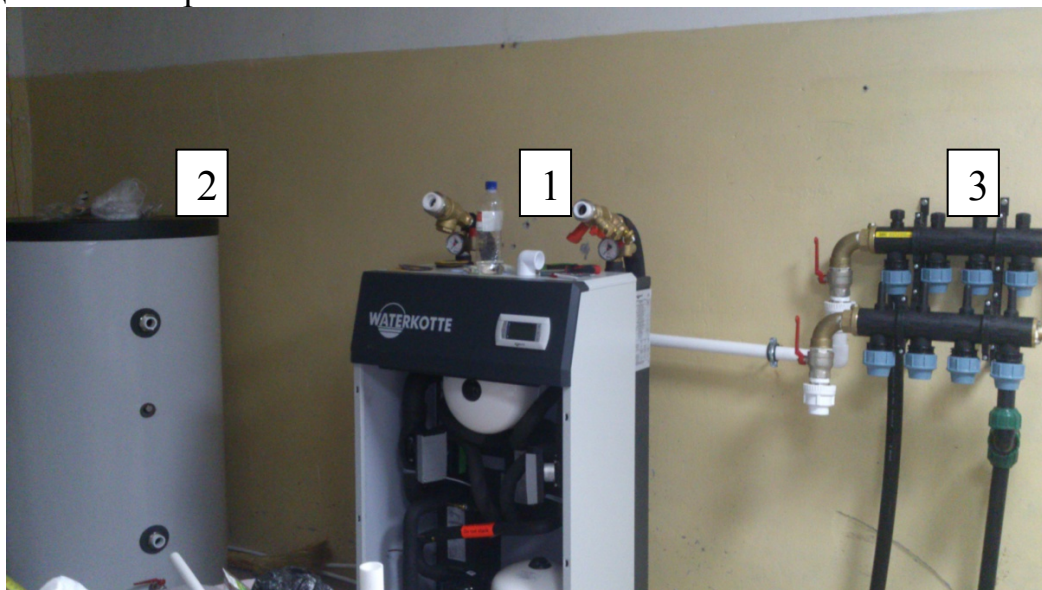


Рис. 2. Расположение основных элементов теплонасосной системы:  
1 – ТН «Waterkotte»; 2 – бак-накопитель; 3 – гребёнка раздаточного коллектора.

В качестве НПИ (низкопотенциального источника) используется тепло грунта под зданием мастерских. Контур НПИ размещён на глубине 3 м горизонтально и обеспечивает циркуляцию незамерзающей жидкости через теплообменник испарителя ТН. Для целей регулирования температуры НПИ (в диапазоне  $5...20^{\circ}\text{C}$ ), в грунт вмонтирован контур подогрева.

Тепловой насос включен в систему комплексного мониторинга объектов НВИЭ УралЭНИН, созданную в рамках Программы развития УрФУ с участием специалистов «National Instruments» на платформе ПО «LabView». Схема мониторинга ТН представлена на рис. 3.

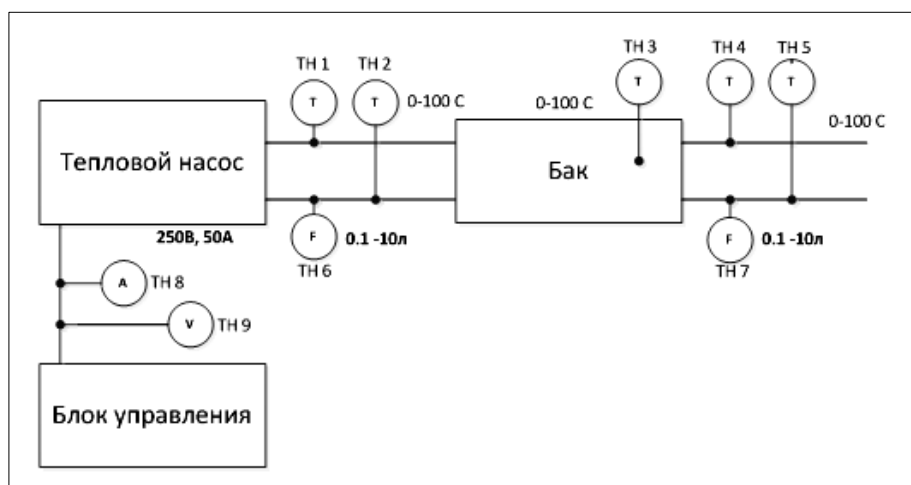


Рис. 3. Схема мониторинга характеристик теплового насоса

Мониторинг характеристик в процессе лабораторных работ и экспериментальных исследований

позволит определить эффективность теплового насоса при различных режимах запуска и условиях эксплуатации.



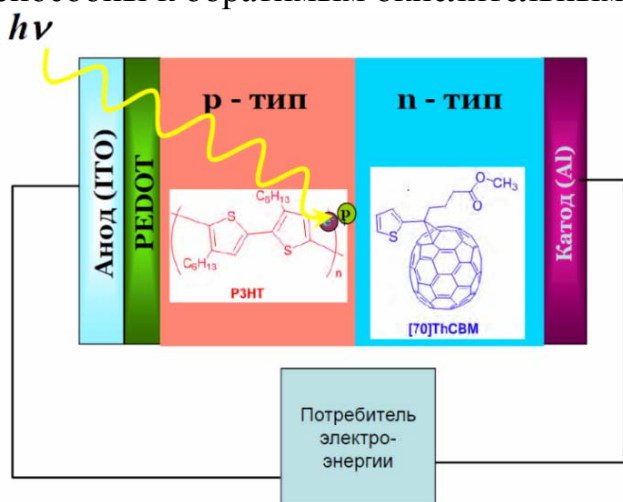
# СИНТЕЗ АНСАМБЛЕЙ ГЕТЕРОЦИКЛОВ – АНАЛОГОВ PUSH-PULL СОЕДИНЕНИЙ

Хамидуллина Л.А., Обыденнов К.Л., Костерина М.Ф.,  
Галуцкий А.Н., Митин В.В., Моржерин Ю.Ю.  
УрФУ, lili.khamidullina@gmail.com

В настоящее время все большее внимание уделяется органическим полупроводникам в качестве материалов для применения в различных оптоэлектрических приборах, таких как органические светоиспускающие диоды (OLEDs), органические полевые транзисторы (OFETs), фотогальванические приборы [1, 2] и т.д. Благодаря широкой возможности структурной варьированности, низкому соотношению цены и эффективности органические материалы могут заменить материалы из неорганических соединений.

Порфирины и их структурные аналоги относятся к амбиполярным материалам, являющимися полупроводниками не только за счет электронной, но и дырочной проводимости, что важно при создании краситель-сенсобилизированных солнечных элементов. Также амбиполярные материалы имеют преимущество над «специализированными» проводниками заряда при создании органических диодов и транзисторов.

Как правило, солнечный элемент представляет собой электрооптическую ячейку, изображенную на рисунке [3]. Известно достаточное количество полупроводников р-типа, в то время как полупроводники n-типа малоизучены [4, 5]. Поэтому синтез полупроводников n-типа является актуальной задачей современной органической химии. В то же время, существует подход к синтезу хромофоров, обладающих одновременно как дырочной, так и электронной проводимостью (амбиполярные полупроводники). Как правило, эти соединения способны к обратимым окислительным и восстановительным реакциям.



Наиболее распространенное устройство солнечного элемента на основе органических соединений [3]

В соединениях с подобными электрохимическими свойствами необходимо присутствие в структуре донорного и акцепторного фрагмента на концах цепи сопряжения. Внутри-молекулярное донор-акцепторное взаимодействие является одной из

предпосылок амбиполярности соединения. Наличие донорной и акцепторной групп на концах сопряженной системы гетероциклов способствует увеличению эффективного сопряжения, что необходимо для настройки окислительно-восстановительного потенциала под заданную электрооптическую ячейку (обычно это  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{I}/\text{I}_3^-$ ) [6].

Порфирины – это сопряженные ароматические макроциклы, которые демонстрируют вместе с широким профилем поглощения электромагнитного излучения высокие значения экстинкции и желаемые окислительно-восстановительные свойства. Кроме того, порфирины могут быть легко модифицированы, что необходимо для структурной настройки.

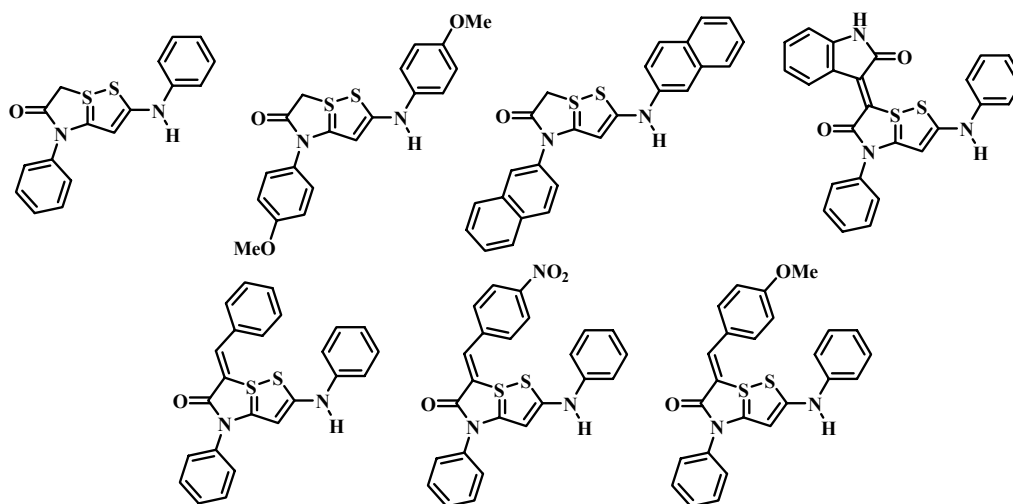
Известны примеры амбиполярных материалов на основе производных порфирина [7-9]. В настоящее время получены олигомеры, содержащие только тиофеновые циклы, в то время, как сопряженные тиазолы привлекают все большее внимание [10].

Мероцианиновые красители представляют собой ансамбли гетероциклов, содержащих тиазольный фрагмент. Эти соединения демонстрируют вместе с широким профилем поглощения электромагнитного излучения высокие значения экстинкции и желаемые окислительно-восстановительные свойства. Кроме того, они могут быть легко модифицированы, что необходимо для структурной настройки.

Тиазолы, содержащие двойные экзоциклические связи, являются аналогами мероцианиновых красителей, применяющихся для создания солнечных элементов [6].

Другой задачей является изучение комплекса свойств полученных хромофоров, необходимых для создания оптоэлектрических приборов (спектры поглощения и испускания, окислительный и восстановительный потенциалы, зависимость плотности тока от напряжения оптоэлектрической ячейки при облучении).

Настоящая работа посвящена синтезу и исследованию свойств ансамблей гетероциклов, соединенных между собой двойной связью и содержащих на концах сопряжения донорный и акцепторные заместители.



Данные соединения являются аналогами push-pull хромофоров. Планируется определение потенциалов окисления и восстановления данных соединений с целью установления возможности использования их в качестве активной среды солнечных элементов.

### Библиографический список

1. Wong, W. W. H.; Vak, D.; Singh, T. B.; Ren, S.; Yan, C.; Jones, D. J.; Liaw, I. I.; Lamb, R. N.; Holmes, A. B. // *Org. Lett.* 2010. 12. 5000-5003.
2. Li, W.; Lee, T.; Oh, S. J.; Kagan, C. R. // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2011. 3. 3874–3883.
3. Разумов, В.Ф. Доклад на научной конференции «Ломоносовские чтения к 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова». 2011.
4. Anthony, J. E.; Facchetti, A.; Heeney, M.; Marder, S. R.; Zhan, X. // *Adv. Mater.* 2010. 22. 3876–3892.
5. Facchetti, A. // *Chem. Mater.* 2011. 23. 733–758.
6. Hagfeldt, A.; Boschloo, G.; Sun, L.; Kloo, L.; Pettersson, H. // *Chem. Rev.* 2010. 110. 6595-6663.
7. Feng, X.; Liu, L.; Honsho, Y.; Saeki, A.; Seki, S.; Irle, S.; Dong, Y.; Nagai, A.; Jiang, D. // *Angew. Chem., Int. Ed.* 2012. 51. 2618–2622.
8. Yella, A.; Lee, H.-W.; Tsao, H. N.; Yi, C.; Chandiran, A. K.; Nazeeruddin, M. K.; Diau, E. W.-G.; Yeh, C.-Y.; Zakeeruddin, S. M.; Grätzel, M. // *Science.* 2011. 334. 629–634.
9. Wan, S.; Gandara, F.; Asano, A.; Furukawa, H.; Saeki, A.; Dey, S. K.; Liao, L.; Ambrogio, M. W.; Botros, Y. Y.; Duan, X.-F.; Seki, S.; Stoddart, J. F.; Yaghi, O. M. // *Chem. Mater.* 2011. 23. 4094–4097.
10. Gal, E.; Andreu, R.; Garín, J.; Mosteo, L.; Orduna, J.; Villacampa, B.; Diosdado, B. // *E. Tetrahedron.* 2012. 68. 6427-6437.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ВЕТРОУСТАНОВКИ

Четошников С.А.

Южно-Уральский государственный университет

tchetser@gmail.com

Для того чтобы обеспечить нормальную работу ветроэнергетической установки (ВЭУ), необходимо постоянно отслеживать ее основные параметры. Это особенно важно на начальном этапе эксплуатации ВЭУ.

В таком случае можно использовать следующую схему. Данные с датчиков поступают на контроллер, а затем на компьютер, где обрабатываются, сохраняются в базу данных и выводятся на экран (рис. 1). Таким образом, можно производить мониторинг работы ветроэнергетической установки.

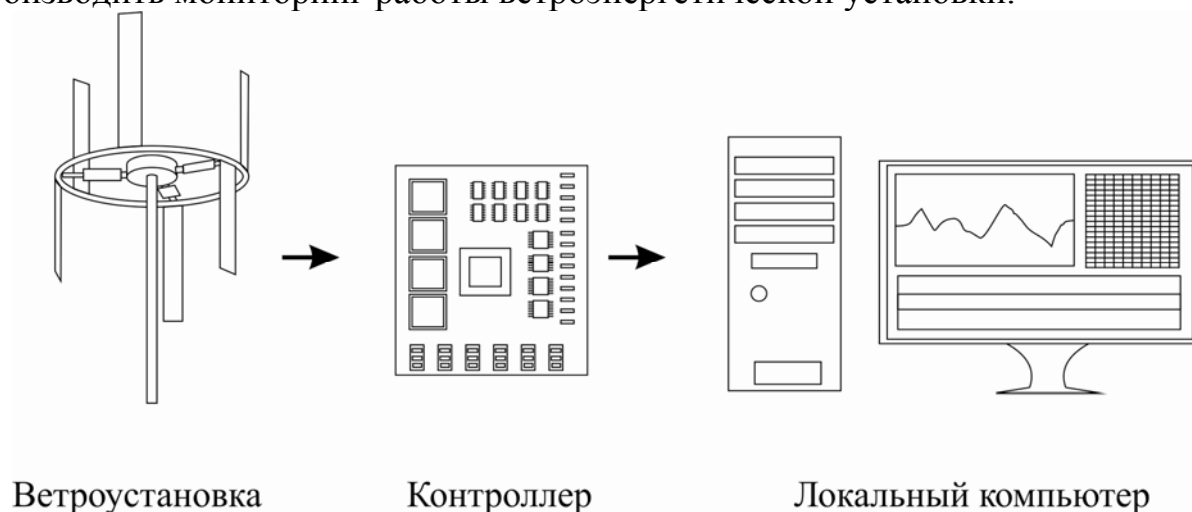


Рис. 1. Схема локального мониторинга работы ВЭУ

Однако, у такой компоновки имеются недостатки. Во-первых, необходимо иметь постоянно включенный компьютер для записи данных, либо сохранять измерения на съемный носитель с последующим копированием на основной компьютер. Во-вторых, при большом расстоянии между установкой и принимающим компьютером возникают сложности с передачей данных. В третьих, при одновременном мониторинге нескольких установок данные будут храниться в разных местах, что не позволит одновременно наблюдать за несколькими установками.

Все эти проблемы возможно решить при использовании веб-сервиса для мониторинга ветроустановок. Основные принципиальные отличия от предыдущей схемы заключаются в том, что для сбора обработки и хранения данных используется не локальный компьютер, а удаленный сервер, и пользователь получает необходимые данные посредством веб-интерфейса, а не специальной программы (рис. 2).

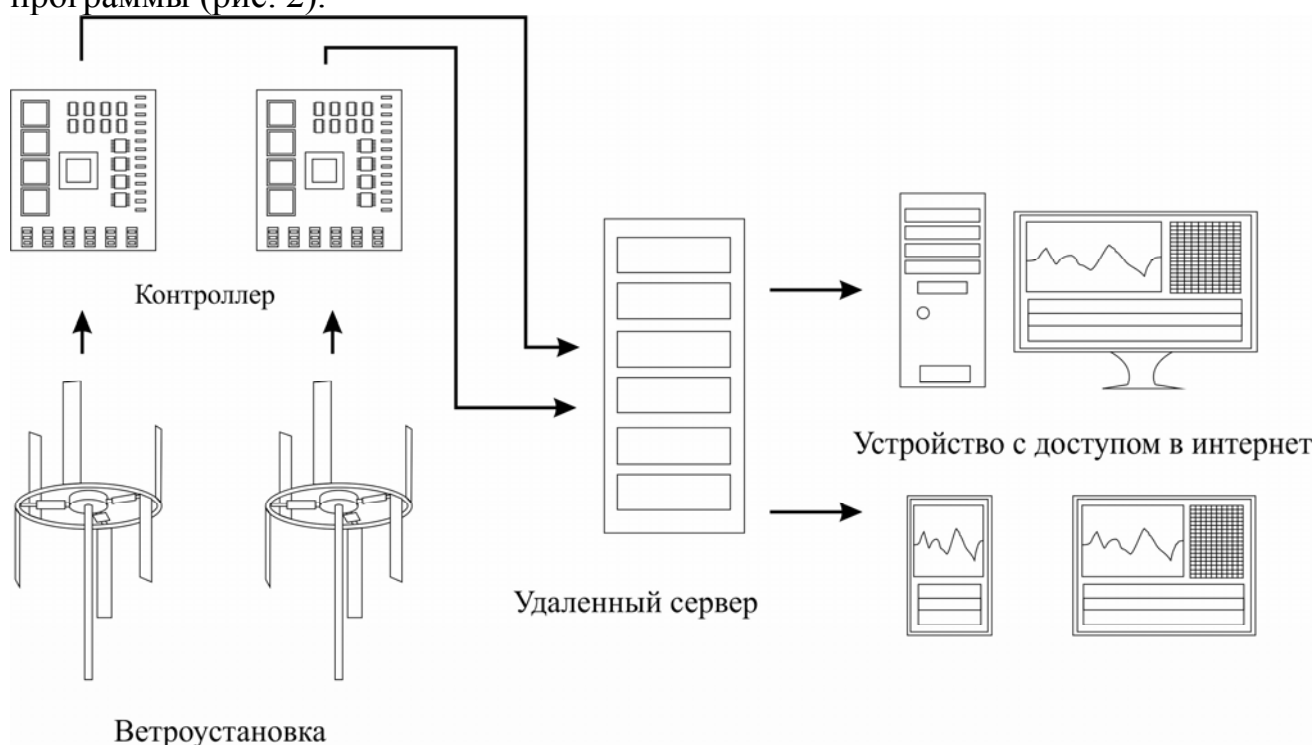


Рис. 2. Схема веб-сервиса для мониторинга работы ВЭУ

В данной схеме измерения с контроллера ветроустановки передаются запросом на удаленный сервер. При получении запроса, сервер обрабатывает входные данные и сохраняет их в базу данных. Одновременно сервер может принимать сигналы от нескольких ветроустановок.

Для получения доступа к данным, пользователю необходимо выйти в интернет и открыть страницу веб-сервиса.

Через веб-интерфейс пользователь сможет запросить любые данные о каждой из подключенных к серверу ветроустановок.

Для реализации такой задачи не потребуются больших вычислительных мощностей, поэтому предлагается использовать один из самых простых вариантов, а именно использование виртуального выделенного сервера (VPS/VDS) на базе Linux.

На сервер предполагается установка программного комплекса LAMP, включающего в себя:

- Linux — операционная система Linux;
- Apache — веб-сервер;
- MySQL — СУБД;
- PHP — язык программирования, используемый для создания веб-приложений.

Для взаимодействия с пользователем потребуется создание веб-сайта с необходимым интерфейсом.

Основными функциями веб-интерфейса должны стать отображение текущих значений параметров для выбранной ветроустановки, а также вывод архивных записей из базы данных.

Для наглядного представления этой информации предлагается использовать графики, таблицы с использованием технологий JavaScript (для вывода графической информации) и AJAX (для связи с сервером).

На веб-сайте возможно будет разместить информацию о всех ветроустановках (местоположение, характеристики, фотографии, описание). При использовании камер возможно реализовать визуальное наблюдение за ветроустановками в режиме реального времени.

Таким образом, осуществление мониторинга с помощью описанного веб-сервиса значительно упрощается. Чтобы отслеживать работу ветроустановки, не потребуется специального программного обеспечения, достаточно иметь доступ в интернет.

#### *Библиографический список*

1. Четошников С.А. Разработка программы расчета электроснабжения автономных потребителей с применением ветроэнергетических установок // Материалы восьмой всероссийской научной молодежной школы с международным участием. М.: Университетская книга, 2012. 492.с
2. Веллинг Л., Томсон Л. Разработка Web-приложений с помощью PHP и MySQL / под ред. Ю.Н. Артеменко. ИД «Вильямс», 2007. 880 с.

## **К МЕТОДИКЕ ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*Чигак А.С., Шерьязов С.К.*

*Челябинская государственная агроинженерная академия  
sakenu@yandex.ru*

Рост мировой экономики ограничивается дефицитами энергоресурсов и растущими ценами на нефть, газ и уголь [1]. В связи с этим последнее время большое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии. В этом ряду наиболее перспективной является солнечная энергетика.

Солнечную энергию можно преобразовать в другие виды, в частности, – в тепловую с помощью солнечных коллекторов (СК) и электрическую с помощью солнечных батарей (СБ). Солнечная водонагревательная установка состоит из СК и теплообменника-аккумулятора.

Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе и отдает тепловую энергию через теплообменник в бак-аккумулятор. В первичном контуре, где расположен СК, может использоваться принудительная циркуляция теплоносителя. Это требует применения специальных циркуляционных насосов.

Для принудительной циркуляции широко используются насосы на 220 В, из-за простоты и возможностью прямого подключения к электросети. Однако они имеют существенные недостатки:

- при исчезновении напряжения в сети насос не работает и может в солнечную погоду привести закипанию теплоносителя в первичном контуре и воздействовать на теплоизоляцию. Использование источников бесперебойного питания требует дополнительных затрат.
- в насосах, как правило, не предусматривают плавное регулирование оборотов, и тем самым обуславливает необходимость применения дополнительной пускорегулирующей аппаратуры.

Для устранения перечисленных недостатков предпочтительнее использовать насосы постоянного тока. По сравнению предыдущими данные насосы обладают следующими преимуществами:

- возможность изменения производительности насоса путём плавного изменения величины приложенного напряжения;
- полная независимость от электросети за счёт использования источника постоянного тока, в частности СБ.

Таким образом, для автономной системы солнечного теплоснабжения предлагается использовать циркуляционный насос на 12 В постоянного тока и СМ для питания насоса. При этом необходимо обосновать параметры насоса и соответственно мощность СБ.

Для выбора насоса желательно знать зависимость производительности насоса от величины приложенного напряжения, которое, в свою очередь, зависит от величины, падающей на поверхность СМ, солнечной радиации. В паспорте насоса отсутствуют необходимые зависимости, что затрудняет выбор насоса и СМ соответствующей мощности.

Для исследования зависимости производительности насоса постоянного тока от величины приложенного напряжения была создана модель системы солнечного теплоснабжения (рис. 1). Паспортные технические характеристики СМ и насоса приведены в таблице.



Рис. 1. Модель солнечной системы теплоснабжения

## Технические характеристики СМ и насоса

| Технические характеристики СМ  | Технические характеристики насоса  |
|--|--|
| Мощность: 30 Вт<br>Напряжение максимальной мощности: 17 В<br>Ток максимальной мощности: 1,65 А | Номинальное напряжение: 12 В<br>Номинальный ток: 1,6 А<br>Номинальная производительность: 12 л/мин<br>Номинальная мощность: 19 Вт. |

При подключении насоса к СМ напрямую, не удалось запустить насос. Это объясняется ростом напряжения на входном конденсаторе насоса, за короткий промежуток времени, до величины напряжения холостого хода СМ (рис. 2) [2]. При этом срабатывает встроенная защита от перенапряжения.

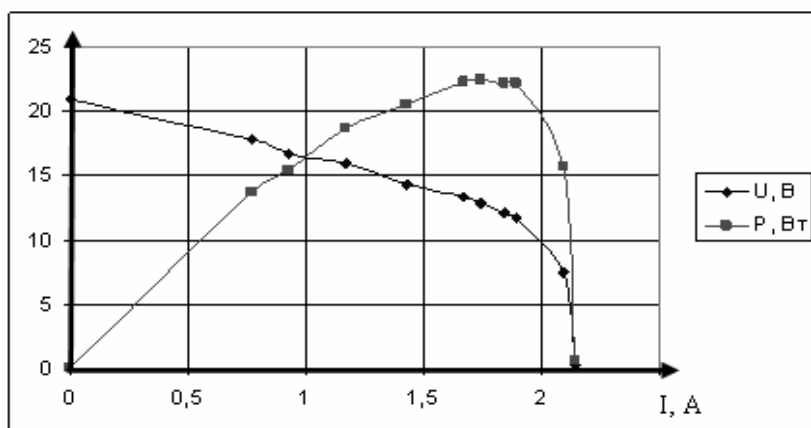


Рис. 2. Внешняя и мощностная характеристики СМ

Для подключения насоса к СМ разработано устройство, принцип работы которого схож со стабилизатором переменного напряжения. Данное устройство поз-

воляет согласовать требуемое напряжения.

При выборе насоса важно знать изменение напряжения на выходе СМ, т.к. в течение дня мощность потока солнечного излучения непрерывно меняется. При этом количество тепловой энергии, вырабатываемой СК, также меняется. Поэтому для повышения теплопроизводительности СК необходимо регулировать расход теплоносителя по заданной зависимости.

С помощью разработанного устройства были проведены замеры мощности СМ, насоса и его производительности в течение суток. Результаты проведенных исследований в октябре приведены на рис. 3.

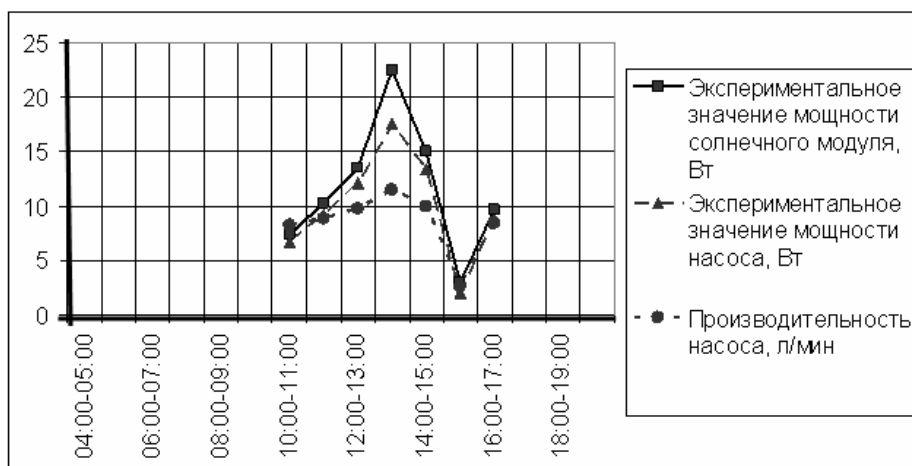


Рис. 3. Изменение мощности СМ, насоса и его производительности в течение суток (на оси абсцисс указано время)

На данном рисунке видно, что производительность насоса меняется в

широких пределах. Максимальная мощность насоса составила 17,5 Вт, что



близко к номинальной. Минимальное значение – 2,6 Вт. Основываясь на полученных данных, можно вычислить оптимальное соотношение мощностей СМ и насоса для автономной системы теплоснабжения:

$$\frac{P_{см}}{P_{нас}} = \frac{30}{19} = 1,58.$$

В ходе проведённых исследований было получено изменение характеристики производительности насоса в течение дня и определено оптимальное соотношение мощностей СМ и насоса. Для согласования насоса и СМ по напряжению разработано устройство с высоким КПД.

#### Библиографический список

1. Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. В 3-х т. Т. 1. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2009. 120 с.
2. Чигак А.С., Шерьязов С.К. Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы LI международной научно-технической конференции. Челябинск: ЧГАА, 2012. Ч. V. С. 142-147

## ГИБРИДНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Чулуунхуу Отгонбаатар, Немихин Ю.Е.

УрФУ, nemikhin@rambler.ru

Рассмотрены три варианта электрической станции мощностью 8 кВт для надежного энергообеспечения в условиях Казахстана. Казахстан, как и Монголия, имеет обширные территории и низкую плотность населения, поэтому не всегда целесообразно иметь электрические сети.

1. Фотоэлектрическая станция – ФЭС
2. Дизельэлектрическая станция – ДЭС
3. Гибридная ФЭС + ДЭС (схема представлена на рис.1).

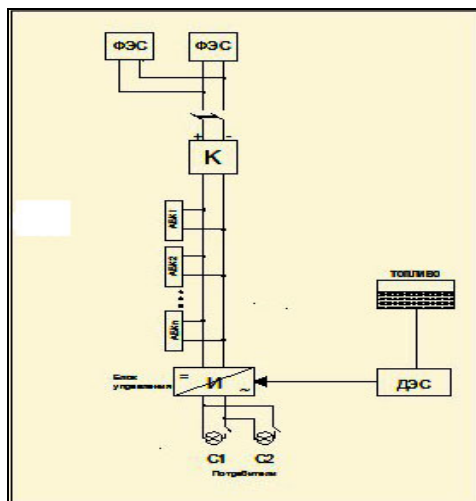


Рис. 1. Схема гибридной станции

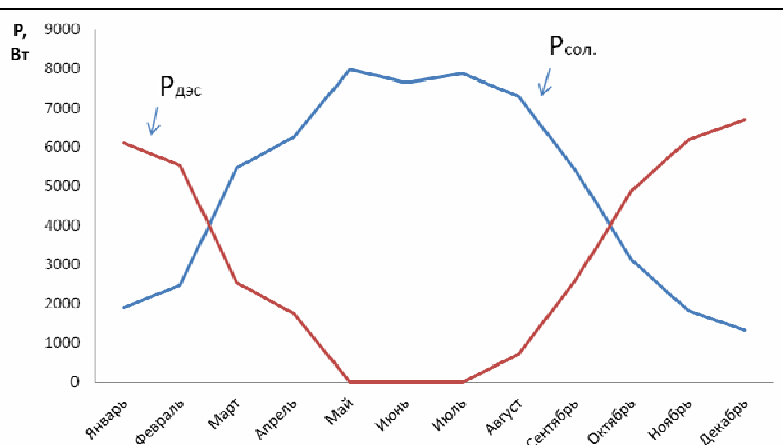


Рис. 2. Распределение нагрузок при работе гибридной станции

В первом и втором случае станции работают постоянно, вариант работы для гибридной станции представлен в табл. 1 и на графике рис. 2.



Таблица 1

## Распределение нагрузок при работе гибридной станции

| Месяц    | Энергия солнечных модулей, Вт·ч/месяц | ДЭС, Вт | Минимальная необходимая емкость аккумуляторной батареи, А·ч |
|----------|---------------------------------------|---------|---|
| Январь   | 1888,5                                | 6111,5  | 4328  |
| Февраль  | 2473,4                                | 5526,6  | 6957  |
| Март     | 5474,2                                | 2525,8  | 25201   |
| Апрель   | 6257,4                                | 1742,6  | 30208   |
| Май      | 7966,4                                | 0       | 35700   |
| Июнь     | 7638,9                                | 0       | 29480   |
| Июль     | 7875,9                                | 0       | 23530   |
| Август   | 7301,4                                | 698,6   | 24897   |
| Сентябрь | 5383,8                                | 2616,2  | 19503   |
| Октябрь  | 3103,3                                | 4896,7  | 8094  |
| Ноябрь   | 1817,9                                | 6182,1  | 3502  |
| Декабрь  | 1307,5                                | 6692,5  | 2554  |

В табл. 2 и на рис. 3 представлены затраты (нарастающим итогом) для получения энергии от электрической станции мощностью 8 кВт для трех вариантов.

Таблица 2

Затраты (нарастающим итогом) для получения мощности 8 кВт  
с учётом затрат на топливо (30 руб./л)

| Год эксплуатации | Затраты ФЭС, руб. | Затраты ФЭС и ДЭС, руб. | Затраты ДЭС, руб. |
|------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| 0<br>кап.затраты | 3 847 000         | 1 386 594               | 731160            |
| 1                | 3 847 000         | 1 459 908               | 1 309 320         |
| 2                | 3 847 000         | 1 533 222               | 1 887 480         |
| 3                | 3 847 000         | 1 606 536               | 2 465 640         |
| 4                | 3 847 000         | 1 679 850               | 3 043 800         |
| 5                | 3 847 000         | 1 753 164               | 3 621 960         |
| 6                | 3 847 000         | 1 826 478               | 4 200 120         |

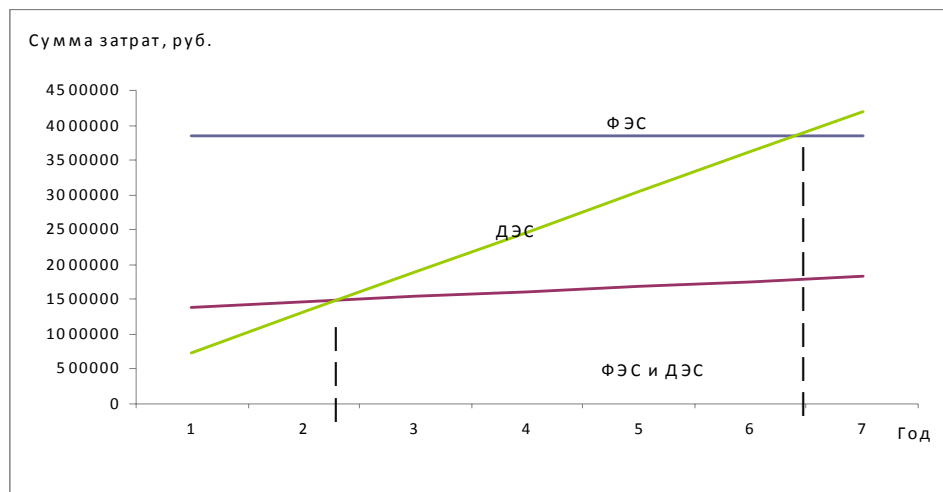


Рис. 3. Затраты (нарастающим итогом) по годам

Как видно из графика рис. 3 через 2, 3 года наименьшие затраты для производства энергии имеет гибридная станция, включающая ДЭС и ФЭС.

1. Программный комплекс “Калькулятор мощности ФЭС”, линк РЗСК.

## **АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЧНЫХ БАКЕНОВ И НАВИГАЦИОННЫХ ЗНАКОВ**

*Шубнякова А.Д., Попов А.И., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, [svetopov@rambler.ru](mailto:svetopov@rambler.ru)*

Бакены со светоуказателями устанавливаются на трассе движения судов, на отмелях и других опасных участках, создающих препятствия для перемещения речных транспортных средств.

Светоуказатели, расположенные в проемах мостов, на пирсах, причалах и т.д., где имеются электрические сети, обеспечиваются резервными аккумуляторами необходимой емкости для гарантии их работы при аварийных отключениях электроэнергии.

В большинстве случаев бакены, расположенные вдали от электрических сетей, должны быть автономными в выработке электрической энергии от энергии гидравлического потока. Речным Регистром к освещению навигационных знаков предъявляются жесткие требования по их надежности и выработке электрической энергии, в том числе при малых скоростях потока воды от 0,3...0,5 м/с.

Для обеспечения бакенов автономным электроснабжением и с учетом характеристик гидравлического потока могут быть использованы конструкции различных микроГЭС, в том числе разработанные на кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ.

Предлагается четыре разновидности подобных конструкций микроГЭС для потоков с различными характеристиками:

- установка в виде единичных роторов [1] или установка из нескольких роторов с их батарейным соединением;
- шнековая микроГЭС, расположенная вне зоны перемещения речных транспортных средств [2];
- гиляндрные микроГЭС, устанавливаемые поперек [3] или вдоль потока [4].

Каждая из этих конструкций имеет свои особенности при использовании. «Ротор» [1] в составе микроГЭС более эффективен, чем конструкции Савониуса, Кажинского и др., не имеет нерабочих («мертвых») зон, отличается повышенным коэффициентом использования энергии гидравлического потока. Это объясняется тем, что часть отработанного потока продолжает воздействовать на другие лопасти, увеличивая суммарный крутящий момент. Может использоваться в широком диапазоне скоростей водного потока.

Шнековая микроГЭС с v-образным расположением шнековых роторов относительно потока создает дополнительный подпор гидравлическому потоку, зависящий от диаметра лопастей шнека [2]. Разные варианты исполнения дан-

ного устройства позволяют использовать его, в том числе, на реках с низкой скоростью потока.

Гирляндные микроГЭС разработаны в развитие известных идей и конструкций Б.С. Блинова [5]. В частности, «Роторная турбина ГЭС» [3] используется при расположении гирлянды поперек потока реки, в том числе вблизи дна, чтобы не мешать проплывающим вверх объектам. Для выработки небольших мощностей может использоваться гирлянда ограниченной длины из нескольких роторов, располагаемых на дне или на поверхности потока вблизи берега. Особенности роторов в данной конструкции в том, что они могут изменять под действием потока оптимальный геометрический профиль турбины и стабилизировать ее обороты.

В ряде случаев, если имеются ограничения по месту расположения микроГЭС, а также – в узких каналах, может быть использована «Роторная гидротурбина. Варианты» [4], располагаемая вдоль потока, например, вблизи берега. Данная гидротурбина отбирает энергию от потока на его протяженном участке, поэтому ее мощность пропорциональна числу используемых специальных торцовых турбинок, содержащих большее число лопастей.

Лопастные свободнопоточные микротурбинные установки разработаны на кафедре в вариантах: «Рукавная деривационная миниГЭС» [6] и «Преобразователь энергии потока» [7].

Конструктивная особенность, например, «Рукавной деривационной миниГЭС» в том, что она содержит ротор, расположенный в горизонтальном положении, а лопасти укреплены между дисками на своих осях, причем корпус имеет входной конфузор и выходной диффузор. Ротор закреплен на своих опорных стойках, прозрачных для входного потока, а рычаги лопастей позволяют изменять им угол установки (угол атаки) по отношению к направлению давления потока.

В данной конструкции увеличение коэффициента использования энергии потока достигается за счет равномерной нагрузки и одновременного использования в работе всех лопастей ротора.

Таким образом, могут быть реально разработаны на заданную мощность и воплощены в промышленных образцах микроГЭС для автономного энергообеспечения речных бакенов и других навигационных знаков.

#### *Библиографический список*

1. Ротор. Патент РФ № 2246634, кл. F03D 3/00 / Попов А.И., Попов Д.А.
2. Бесплотинная шнековая гидроэлектростанция. Патент на полезную модель РФ № 94642, кл. F03B 17/00. / Попов А.И., Щеклеин С.Е.
3. Роторная турбина ГЭС. Патент на полезную модель РФ № 57385, кл. F03B 13/00. / Попов А.И.
4. Роторная гидротурбина. Варианты. Патент на полезную модель РФ № 61808, кл. F03B 13/00. / Попов А.И.
5. Блинов Б.С. Гирляндная ГЭС. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 63 с.
6. Рукавная деривационная миниГЭС. Патент на полезную модель РФ № 104250, кл. F03B 3/12. / Щеклеин С.Е., Попов А.И.
7. Преобразователь энергии потока. Патент на полезную модель РФ № 101739, кл. F03D 1/00. / Попов А.И., Щеклеин С.Е.

# СОДЕРЖАНИЕ

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ**

**Данилов Н.И., Балдин В.Ю., Россель Э.Э.**

Система обучения и повышения квалификации специалистов по энергосбережению:  
опыт Уральского региона..... 5

**Балдин В.Ю., Селезнева И.С.**

Основные итоги Всероссийской студенческой олимпиады (2 и 3 этапы)  
«Энерго- и ресурсосбережение», «Нетрадиционные и возобновляемые источники  
энергии» научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых  
ученых и выставки научно-технического творчества молодежи «Энерго-  
и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые  
источники энергии» 2012-2013 года..... 9

**Абаимов Н.А., Рыжков А.Ф.**

Численное исследование циклонных газификационных установок..... 26

**Абатурова О.С., Абаимов Н.А., Горшков Е.И., Левин Е.И., Рыжков А.Ф.**

Моделирование сжигания бедных газов в высокотемпературном потоке окислителя  
для твердотопливной ПГУ мощностью 340 МВт..... 29

**Аксенов Н.А., Ковалев А.А.**

Внедрение светодиодного освещения на железнодорожных станциях..... 30

**Аловадинова Х.Н., Картавцев С.В.**

Энергосберегающий эффект при замене теплоносителя в кристаллизаторе МНЛЗ..... 33

**Атаманюк О.В., Трубицын К.В.**

Обеспечение энергетической безопасности России в условиях вступления в ВТО..... 35

**Береснева Ю.А., Ширяева Н.П.**

Проектирование энергоэффективной системы отопления  
с применением оборудования «HERZ»..... 38

**Быкова О.В., Хейло Д.В., Хайруллин И.А., Картавцев С.В.**

Повышение эффективности и надежности  
теплоснабжения крупного промышленного города..... 40

**Быстрова Е.С., Каргаполова К.В., Лобунец О.Д.**

Безопасный светофор..... 41

**Вайсулова Э.Ф., Безматерных М.А., Селезнева И.С.**

Модернизация биологической очистки сточных вод  
на аэрационной станции предприятия «Водоканал»..... 43

**Валиуллин К.Р.**

Математическая модель регулятора уличного освещения в среде MatLAB..... 45

**Вальцев Н.В., Микула В.А., Рыжков А.Ф., Змеева А.В.**

Разработка узла нагрева циклового воздуха для перспективной угольной ПГУ..... 48

**Васькова Е.О., Матюхин В.И.**

Использование теплоты вторичных энергоресурсов во вращающихся печах..... 51

**Верхозин А.М., Егоров А.О.**

Геодезические съёмки кабельных линий ОАО «ЕЭСК»..... 53

**Ветлов Е.С., Колнаков А.С.**

Изучение свойств потока жидкости в теплообменном аппарате  
со сферическими интенсификаторами теплообмена..... 55

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ворошилова И.Г., Лазуткина О.Р., Фарафонтова Е.П.</b><br>Модифицированные эмали для энергосберегающих покрытий трубопроводов.....   | 56  |
| <b>Втюрин М.А., Никулин В.А.</b><br>Разработка двухкомпонентной форсунки для грануляции перкарбоната натрия в аппарате кипящего слоя.....  | 58  |
| <b>Вяткина М.В., Тавлинцев А.С., Тренина Е.М., Ерошенко С.А., Егоров А.О.</b><br>Конструктор электроэнергетических систем.....   | 59  |
| <b>Гадельшин В.М., Окладной Е.Е., Гадельшин М.Ш.</b><br>Тепловизионный метод исследования работоспособности термосифона рекуперативного теплообменника.....  | 60  |
| <b>Горбунова Е.С., Понамореv М.М., Мурзадеров А.В., Картавцев С.В.</b><br>Применение химической регенерации с целью уменьшения расхода природного газа..   | 62  |
| <b>Горбунова Е.А., Горбунов В.А.</b><br>Подбор настроечных коэффициентов для решения задач нагрева с граничными условиями второго рода с переменными теплофизическими коэффициентами в пакете ANSYS..... | 64  |
| <b>Гордеев Д.А., Ануфриев В.П.</b><br>«Зеленая» экономика и перспективы ее развития на современном этапе.....  | 65  |
| <b>Гордеев С.И., Рыжков А.Ф.</b><br>Оптимизация тепловой схемы угольной ПГУ с высокотемпературным воздухонагревателем.....   | 68  |
| <b>Горсткин Д.А., Суворов Д.М.</b><br>О методах распределения затрат теплоты и топлива по видам энергетической продукции на ТЭЦ.....   | 71  |
| <b>Горилов Е.И., Левин Е.И., Микула В.А.</b><br>Опыт разработки схемы теплоснабжения ГО Верх-Нейвинский.....   | 74  |
| <b>Гринёв Д.И., Сабиров Т.Н., Бачерикова А.К.</b><br>Газоочистка участка производства консистентных смазок.....  | 76  |
| <b>Даргевич М.А., Кривова К.Д., Павловская Н.А., Хабибуллин А.Р.</b><br>Экспериментальные исследования конверсии экибастузского угля методом ТГА.....  | 78  |
| <b>Девецкая Н.А., Плужникова Н.А., Картавцев С.В.</b><br>Повышение надёжности системы теплоснабжения одного из районов города Орска....  | 80  |
| <b>Ерошенко С.А., Егоров А.О.</b><br>Школа умного потребителя (АИИС КУЭ ШКОЛЫ).....  | 83  |
| <b>Мурманский И.Б., Желонкин Н.В., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э.</b><br>Маслоохладители с профилированными теплообменными трубками.....  | 84  |
| <b>Запарнюк М.Н., Гордеева И.С., Нешпоренко Е.Г.</b><br>Разработка тепловой схемы энергоэффективного использования теплоты кокса в УСТК.....   | 87  |
| <b>Захаров Р.В., Матвеев С.В., Картавцев С.В.</b><br>Технологическая регенерация теплоты готового стального листового проката.....   | 89  |
| <b>Зиганшин А.М., Горохова А.Ю., Мингазеева Д.Н.</b><br>Настройка численного решения задачи о свободной конвекции над горизонтальным цилиндром.....  | 90  |
| <b>Зиганшин А.М., Хакимянов Р.Р.</b><br>Численное исследование потерь давления в местном отсосе в виде круглого раструба   | 93  |
| <b>Зубов Д.И., Суворов Д.М.</b><br>Оценка эффективности использования тепловых насосов на ТЭЦ.....   | 96  |
| <b>Ивакина С.А., Муңц В.А.</b><br>Определение константы скорости химического реагирования цинкового концентрата с помощью прибора NETZSCH 449C.....  | 98  |
| <b>Казакбаев В.М., Дмитриевский В.А., Прахт В.А.</b><br>Расчет энергетических характеристик синхронного реактивного двигателя.....   | 100 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Кальнишевский А.В., Радченко Р.В.</b><br>Критерии сопоставления накопителей энергии.....   | 104 |
| <b>Канчурина В.Ф., Жаркова Ю.Р., Бушуев А.Н.</b><br>Оценка соотношения термодинамических показателей воздуха<br>и рабочего тела газовой турбины.....  | 106 |
| <b>Ковязина И.С., Саетова Н.С., Нечаев Г.В., Власова С.Г.</b><br>Синтез и исследование возможности использования натрий-иттрий-<br>силикатных/фосфатных стекол в качестве основы для химических источников тока.... | 109 |
| <b>Козырева Н.Б., Толстова Ю.И.</b><br>Снижение энергозатрат в системах вентиляции корпусов электролиза алюминия.....   | 111 |
| <b>Концевич В.А., Лобунец О.Д., Суханова Е.В.</b><br>Электронная модель системы автоматического управления уличным освещением.....  | 112 |
| <b>Копейцев А.М., Осинцева Г.Ю., Гревцев Д.Е., Александров Б.М., Горбунов А.В.</b><br>Комплексная оценка физико-технических свойств запасов торфа на месторождении...   | 114 |
| <b>Кузнецов И.Д., Гольцев В.А.</b><br>Модернизация системы охлаждения пода руднотермической печи.....   | 116 |
| <b>Куликов И.С.</b><br>Повышение качества нагрева рельсовых заготовок в условиях «ЕВРАЗ НТМК».....  | 118 |
| <b>Куликов А.А., Шевчук С.А., Котов О.М.</b><br>Оценка эффективности мероприятий по энергосбережению<br>с использованием учебной базы потребителей электрической энергии.....                                       | 121 |
| <b>Лабинцев Е.С., Тупоногов В.Г.</b><br>Моделирование двухфазных систем с применением пакета ANSYS CFX.....   | 123 |
| <b>Лазаревич А.С.</b><br>Опыт ОАО «ПО «УОМЗ» в разработке энергоэффективных источников света.....   | 125 |
| <b>Леготина А.И., Бирюзова Е.А.</b><br>Органический теплоноситель: термомасло.....  | 127 |
| <b>Логиновских Л.А., Иванцова М.Н., Селезнева И.С.</b><br>Совершенствование аэробной очистки сточных вод на предприятии «Водоканал».....  | 129 |
| <b>Лонишаков А.С., Суворов Д.М.</b><br>Оценка мощности и предварительного КПД<br>для современных двигателей Стирлинга.....  | 133 |
| <b>Лопатин А.С., Лопатин И.С., Пирумян Н.М.</b><br>Аморфные электротехнические сплавы.....  | 135 |
| <b>Мансуров А.Р., Костуганов А.Б., Мансуров Р.Ш.</b><br>Энерго- и ресурсосберегающие децентрализованные<br>приточно-вытяжные системы вентиляции.....  | 138 |
| <b>Мжельская О.Ю., Краснова Н.П.</b><br>Энергосберегающий строительный материал для сохранения теплоты в помещениях..   | 141 |
| <b>Милютин Р.В., Пономарев К.В., Лазарева Т.Ю., Назарова Е.В., Сорокин Р.Н.</b><br>Технология создания эффективного торфяного топлива.....  | 142 |
| <b>Мишкович А.М., Попов А.И.</b><br>Теплонакопители для системы электроотопления<br>в детском дошкольном учреждении г. Екатеринбурга.....   | 145 |
| <b>Мракин А.Н.</b><br>Разработка методики расчета циклонных топок для сжигания<br>полукокса горючих сланцев.....  | 147 |
| <b>Мурзина М. А., Иванцова М.Н., Селезнева И.С.</b><br>Энергосбережение в производстве йогурта.....   | 150 |
| <b>Мухлынин Н.Д., Егоров А.О., Овчинников А.В.</b><br>Создание интерактивной карты системы электроснабжения ОАО «ЕЭСК»<br>в рамках концепции SMART CITY и SMART METERING.....                                       | 152 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Нагорских В.С., Ларьков Н.С.</b><br>Перспективы применения маховичных накопителей энергии<br>в сельскохозяйственной технике.....  | 154 |
| <b>Носков И.Ю., Степанов О.А.</b><br>Энергоэффективность серверов центров обработки данных.....  | 158 |
| <b>Осинцева Г.Ю., Головских Д.С., Журавлев А.В., Гревцев Н.В., Горбунов А.В.</b><br>Повышение эффективности добычи торфа с применением инновационных решений...  | 160 |
| <b>Патапова А.В., Зарипов Р.А., Худяков П.Ю., Жилкин Б.П.</b><br>Разработка двухтарифного счетчика ГВС.....  | 162 |
| <b>Петракович М.А., Абдулгужина И.Р., Демин Ю.К., Матвеев С.В., Картавцев С.В.</b><br>Сравнительный термодинамический анализ способов охлаждения<br>высокотемпературных тепловыделяющих установок.....                               | 165 |
| <b>Пильчугов А.В., Суворов А.Д., Костин А.А., Балдин В.Ю.</b><br>Технико-экономическое обоснование отказа от капитальных ремонтов<br>электрических машин малой мощности (до 10 кВт) в условиях<br>ОАО «Синарский трубный завод»..... | 167 |
| <b>Полунин Ф.А., Браславский И.Я., Плотников Ю.В.</b><br>Оценка экономической эффективности использования емкостных накопителей<br>энергии в частотно-регулируемом электроприводе мостового крана.....                               | 168 |
| <b>Пономарев К.В., Милютин Р.В., Панасюк А.И., Белякова А.П., Сорокин Р.Н.</b><br>Эффективность перевода котельных с угля на торфяной брикет.....  | 171 |
| <b>Ронкин М.В., Калмыков А.А.</b><br>Ультразвуковой метод измерения расхода энергоресурсов в трубопроводах.....  | 173 |
| <b>Ртищева А.С.</b><br>Моделирование оптимальных систем управления параметрами отоплением.....   | 176 |
| <b>Ртищева А.С.</b><br>Оптимальное управление воздухообменом в здании.....   | 178 |
| <b>Салова Е.С., Бирюзова Е.А.</b><br>Существующие проблемы при сжигании мазута.....  | 181 |
| <b>Сафин Н.Р., Дмитриевский В.А., Прахт В.А., Дмитриевский А.А., Казакбаев В.М.</b><br>Диагностика неисправностей асинхронных двигателей на основе<br>спектрального анализа токов статора и вопросы энергосбережения.....            | 182 |
| <b>Сахипгареев Р.Р., Шапенов П.М., Чернышов А.А., Останин Н.И.</b><br>Электроэкстракция никеля из сульфатных электролитов.....   | 185 |
| <b>Серебряков Д.В., Кондратьев С.П.</b><br>Энергия Уральского региона – что мы о ней знаем?.....   | 188 |
| <b>Синькевич А.Н., Бушуев А.Н.</b><br>Оценка основных вариантов индивидуального энергообеспечения<br>металлургического предприятия.....  | 191 |
| <b>Ситдикова Л.Ф., Иванцова М.Н., Селезнева И.С.</b><br>Энергосбережение на предприятиях пищевой промышленности.....   | 194 |
| <b>Скворцов И.А., Гусенкова Н.П.</b><br>Повышение энергоэффективности кожухотрубчатого теплообменного аппарата<br>на основе численного моделирования в ПК ANSYS.....   | 196 |
| <b>Слепова И.О., Борисова И.В., Демин Ю.К., Картавцев С.В.</b><br>Исследование возможности аккумуляции сжатого воздуха.....  | 198 |
| <b>Слепова И.О., Демин Ю.К., Картавцев С.В.</b><br>Исследование возможности выработки электроэнергии<br>на базе производства сжатого воздуха для ВРУ.....  | 200 |
| <b>Софронов Н.С., Распевалова И.А., Ртищева А.С.</b><br>Использование инерционных свойств ограждающих конструкций<br>как способ энергосбережения.....  | 203 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Сумин А.Д.</b><br>Исследование влияния формы излучающей трубы на показатели ее тепловой работы..  | 204 |
| <b>Таранун А.С.</b><br>Применение цикла Майсоценко в конденсаторах систем<br>парокомпрессионного охлаждения.....   | 207 |
| <b>Ташикангузова А.А. Запарнюк М.Н., Картавцев С.В.</b><br>Энергосберегающее направление использования конвертерных газов.....   | 208 |
| <b>Усков И.А., Буславьев А.С., Васнин Н.А., Гоман В.В., Федореев С.А.</b><br>Повышение эксплуатационных характеристик подвижных<br>контактных соединений электротехнического оборудования.....   | 209 |
| <b>Усков И.А., Гоман В.В., Федореев С.А.</b><br>Способ улучшения эксплуатационных характеристик подвижных<br>контактных соединений электротехнического оборудования.....   | 212 |
| <b>Устимов К.В., Агапитов Е.Б.</b><br>Оценка эффективности работы паровых аккумуляторов в системе утилизации<br>низкопотенциального пара в условиях ОАО «ММК».....   | 214 |
| <b>Фарленков А.С., Ананьев М.В., Антонова Е.П., Еремин В.А.,<br/>Поротникова Н.М., Курумчин Э.Х.</b><br>Исследование влияния электроактиватора на кинетику деградации<br>катодных материалов LSM—YSZ.....  | 215 |
| <b>Федотова А.М., Горелов М.В.</b><br>Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности<br>современных теплоизоляционных материалов.....   | 217 |
| <b>Филиппов П.С., Абаимов Н.А., Буян Б.</b><br>Моделирование камеры сгорания бедных газов.....   | 220 |
| <b>Халевицкий Ю.В.</b><br>Тенденции увеличения энергоэффективности в суперкомпьютерных технологиях.....  | 223 |
| <b>Хихлов Д. Д., Худякова Г.И.</b><br>Повышение эффективности конденсационных блоков ТЭС<br>при использовании тепловых насосов.....  | 226 |
| <b>Худякова Г.И., Бунькова Е.А., Данилов Н.И., Силин В.Е.</b><br>Реализация Президентской программы повышения квалификации инженерных<br>кадров «Энергосбережение, повышение энергетической эффективности и<br>ресурсосбережение в промышленности» в 2012-2013 гг..... | 229 |
| <b>Чалов Е.О., Платонов И.В., Картавцев С.В.</b><br>Физическое моделирование процесса плавления металлического лома<br>в высокотемпературном теплоносителе.....  | 231 |
| <b>Чернова А.Д., Семенова Н.Г.</b><br>Методы искусственного интеллекта, применяемые<br>для решения задач энергообеспечения.....  | 234 |
| <b>Черноскутов Д.В.</b><br>Исследование электрической прочности межконтактного промежутка<br>элегазового выключателя на класс напряжения 110 кВ<br>с применением интеллектуальной системы управляемой коммутации.....  | 237 |
| <b>Черноскутов М.А., Казяев М.Д.</b><br>Перевод электрической подогревательной печи на отопление природным газом.....  | 240 |
| <b>Шаюхов Т.Т., Ковалев А.А.</b><br>Методы выравнивания графиков нагрузки энергосистемы.....   | 241 |
| <b>Шестакова В.В., Кирпичникова И.М.</b><br>Искусственная дорожная неровность как альтернативный источник энергии.....   | 243 |
| <b>Школьник Ю.И., Бушуев А.Н.</b><br>Приоритетные направления повышения энергоэффективности<br>на ОАО «Уральская сталь».....   | 246 |



## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Антипов А.С., Низов В.А.</b><br>Рецикл хроматных шламов в производство хромовых соединений.....   | 249 |
| <b>Афанасьев К.Ю.</b><br>Технология утилизации попутного нефтяного газа на месторождениях<br>с использованием контактных испарительных установок.....  | 251 |
| <b>Афанасьев К.Ю.</b><br>Исследование характеристик аппарата погружного горения<br>при обезвреживании сточных вод.....   | 254 |
| <b>Афанасьева М.А., Капустин Ф.Л., Пьячев В.А.</b><br>Медный гранулированный шлак – минеральная добавка<br>в составе общестроительных цементов.....  | 257 |
| <b>Бараковских Д.С., Шишкин С.Ф.</b><br>Инженерная методика расчета эжектора для подачи дисперсных материалов.....   | 259 |
| <b>Баяндина М.А., Баяндина Т.В., Земляной К.Г.</b><br>Синтез алюмомагнезиальной шпинели на основе<br>отходов производства вторичного алюминия.....   | 262 |
| <b>Беляев М. А., Царев Н. С.</b><br>Обработка химически загрязненных сточных вод предприятий цветной металлургии..   | 264 |
| <b>Беляков С.А.</b><br>Синтез $\text{CaV}_{0,5}\text{Mo}_{0,5}\text{O}_3$ и его стабильность в контакте<br>с перспективными твердыми электролитами.....  | 267 |
| <b>Валенцева Т.А., Царев Н.С., Климаев А.В.</b><br>Осадки производственных сточных вод как вторичные<br>материальные ресурсы предприятий черной металлургии.....   | 268 |
| <b>Вараева Е.А., Церковникова К.С., Аксенов В.И.</b><br>Технология обработки сточных вод предприятий горнопромышленного комплекса....  | 270 |
| <b>Васечкина В.А., Ютик А.С., Кузнецова А.А., Герасимова Е.С.</b><br>Исследование влияния добавки шламов разного химического состава<br>на свойства портландцемента.....   | 272 |
| <b>Ворсин В.А., Уфимцев В.М.</b><br>Невзрывные разрушающиеся смеси из известковых отсеков.....   | 275 |
| <b>Габдуллин А.Н., Калинин И.И., Вайтнер В.В., Никоненко Е.А.</b><br>Переработка многотоннажных отходов асбестообогащительной промышленности<br>(серпентинита) – производство высококачественного оксида магния,<br>белой сажи и оксидов металлов..... | 277 |
| <b>Галямова Л.А., Парамонова А.М., Альбаева И.И., Кушнеревич А.В., Власова С.Г.</b><br>Звукоизоляционный материал на основе стекольного боя и доломитовой муки.....  | 280 |
| <b>Гирфанов Е.С., Кащеев И.Д.</b><br>Легковесные бетоны на основе вспученного вермикулита.....   | 282 |
| <b>Гордеев И.И., Белоусова О.А.</b><br>Введение узла деизопентанизации на установке изомеризации прямогонного бензина  | 283 |
| <b>Гришунина Д.М., Мухина Е.А., Кривова С.Д., Толкачева Л.Е.</b><br>Ресурсосбережение в процессе получения сульфата цинка<br>в ООО «Медногорский медно-серный комбинат».....   | 284 |
| <b>Гумирова А.Р., Ярославцева О.В., Останин Н.И., Рудой В.М., Трофимов А.А.</b><br>Потенциостатический метод исследования стойкости сталей<br>против локальной коррозии.....   | 286 |
| <b>Жомайко О.С., Семенова С.В., Правдин Б.А.</b><br>Ресурсосбережение при зонировании территории санитарно-защитной зоны<br>ООО «Белоярская фабрика асбокартонных изделий».....  | 288 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Зырянцев О.А., Гольцев В.А.</b><br>Экспериментальное определение коэффициента температуропроводности<br>рудных материалов при отрицательных температурах.....  | 290 |
| <b>Климов Е.И., Цейзер Г.М.</b><br>Добыча и использование черноморского сероводорода.....   | 293 |
| <b>Козловских Е.Ю.</b><br>Отходы производства вторичного алюминия –<br>сырье для получения огнеупорных материалов.....  | 296 |
| <b>Краснянская Ю.В., Лазуткина О.Р.</b><br>Защитные композиции для ремонта, уплотнения, теплоизоляции<br>эмалированного оборудования, работающего в агрессивных средах.....   | 298 |
| <b>Май Е.П., Мезенцева А.В.</b><br>Разработка модели оценки экономического эффекта ресурсосберегающих<br>инноваций – перспективный путь развития экономики страны.....  | 299 |
| <b>Молодых А.С., Габдуллин А.Н., Никоненко Е.А., Вайтнер В.В.</b><br>Азотнокислотные способы переработки некондиционного сырья.....   | 301 |
| <b>Никитин В.С., Останина Т.Н., Рудой В.М.</b><br>Влияние поляризующего сигнала на динамику роста дендритных осадков цинка.....   | 304 |
| <b>Орлов П.А.</b><br>Перспективы развития технологии производства и применения пеностекла.....  | 307 |
| <b>Попова А. А., Белоусова О. А.</b><br>Сравнение технологий получения битумного вяжущего.....  | 309 |
| <b>Путенихина О.А., Тихонов А.В.</b><br>Технологии переработки цинксодержащей пыли ДСП.....   | 311 |
| <b>Путров А.О., Земляной К.Г.</b><br>Поиск временного технологического связующего<br>для производства огнеупорных магнезиальных изделий.....  | 312 |
| <b>Сафонов Ю.В., Кирсанов Ю.Г.</b><br>Гидрокрекинг как процесс углубления переработки нефти и<br>получения экологически чистых моторных топлив.....   | 312 |
| <b>Сафонов Ю. В., Кирсанов Ю. Г.</b><br>Гидрокрекинг смеси газойлей с рециклом остаточного продукта.....  | 315 |
| <b>Сысоев В.С., Ютик А.С., Кузнецова А.А., Герасимова Е.С.</b><br>Подбор режимов тепловой обработки для цементно-серного мелкозернистого<br>бетона, содержащего шлам водоподготовки.....  | 318 |
| <b>Титов С.А., Ярушина Т.В., Земляной К.Г.</b><br>Спекаемость композиций состава «периклаз-хромит».....   | 320 |
| <b>Толкачева А.С., Шкерин С.Н., Калинина Е.Г., Филатов И.Е.</b><br>Керамика со структурой майенита – молекулярный фильтр для газообразного гелия...   | 322 |
| <b>Трофимов А.А., Рудой В.М., Ярославцева О.В.</b><br>Определение качества подготовки поверхности образцов<br>методом импедансной спектроскопии.....  | 323 |
| <b>Фазлутдинов К.К., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н.</b><br>Новый метод извлечения хрома из стоков гальванического производства<br>с получением хромистого гидронимарозита.....  | 326 |
| <b>Федотова Е.А., Яковлева Е.В., Толкачева А.С., Корякин К.Е., Шкерин С.Н.</b><br>Возможность применения $\text{Ca}_{12-x}\text{Fe}_x\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$<br>в качестве анодного материала для топливных элементов..... | 327 |
| <b>Фетисова Е.Б., Фетисов Б.А, Уфимцев В.М.</b><br>Энерготехнологическая эффективность производства тонкодисперсной извести.....  | 328 |
| <b>Холзаков Д.А., Иконников И.С., Тупоногов В.Г.</b><br>Улучшение экологических показателей комплекса<br>по производству минераловатных изделий.....  | 330 |
| <b>Чернышев А.А., Новиков А.Е.</b><br>Электроосаждение никелевого покрытия на алюминий.....   | 333 |

## **НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Аликина К. Н., Пахалуев В. М.</b><br>Возможности петротермальной энергетики РФ.....   | 335 |
| <b>Батенков Д.И., Лукьяненко В.Ю., Ташлыков О.Л.</b><br>О роли объемного моделирования демонтируемых систем<br>в оптимизации продолжительности работ и дозовых затрат персонала<br>при выводе из эксплуатации АЭС.....                             | 337 |
| <b>Батраков А.В., Ртищева А.С.</b><br>Применение солнечных коллекторов для отопления частных домов.....  | 340 |
| <b>Берг И.А., Батмунх С.</b><br>Повышение КПД солнечного коллектора перестройкой<br>воздушного потока под светопрозрачным покрытием.....   | 343 |
| <b>Богословская А.В., Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Ченцов А.Г.</b><br>Метод динамического программирования в решении иерархической задачи<br>маршрутизации применительно к оптимизации демонтажа радиоактивного<br>оборудования..... | 345 |
| <b>Бодрова Е.С., Нараева Р.Р.</b><br>Мини-ТЭЦ на возобновляемом топливе – свалочном биогазе.....   | 346 |
| <b>Борисова О.В., Бабенко И.А., Вальцева А.И.</b><br>Система теплоснабжения г. Рейкьявика<br>как пример эффективного использования геотермальной энергии.....  | 349 |
| <b>Боровский Н.И., Коржавин С.А., Щеклеин С.Е., Немихин Ю.Е., Тимофеев В.М.</b><br>Исследование работы шнековой ВЭУ в городских условиях.....  | 352 |
| <b>Вальцева А.И., Щеклеин С.Е.</b><br>Проект экспериментального стенда для исследования<br>характеристик жидкосолевого топливного элемента.....  | 355 |
| <b>Воробьева Я.С.</b><br>Ветропарк как источник энергии. Мировой опыт.....   | 357 |
| <b>Гесс И.А., Михайлишин Е.В.</b><br>Экономическая эффективность использования тепловых насосов<br>в системах горячего водоснабжения.....  | 359 |
| <b>Головин А.А., Куликова Е.А.</b><br>Применение солнечных фотоэлектрических установок<br>в условиях Уральского федерального округа.....   | 361 |
| <b>Горбунова А.А., Нараева Р.Р.</b><br>Биоресурсы аграрного сектора как возобновляемый источник энергии<br>на примере расчета биогазовой установки Аргаяшской птицефабрики.....  | 364 |
| <b>Денисов К.С., Рахимова Н., Завьялов А.С., Велькин В.И.</b><br>Разработка программных комплексов «АРК-ВИЭ» и «VIZPO-RES» для расчета<br>возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на основе анализа зарубежных программ.....                       | 366 |
| <b>Димитриев О. Г.</b><br>Целесообразность применения ветрогенераторов для электроснабжения предприятий.....   | 369 |
| <b>Доскенов А.Х., Шерьязов С.К.</b><br>Система солнечного теплоснабжения с теплонасосной установкой.....   | 372 |
| <b>Жуков А.В.</b><br>Автоматизация газогенераторной установки, работающей на биотопливе.....   | 374 |
| <b>Загафуранова Ю.М., Акифьева Н.Н.</b><br>Моделирование координатора мощности для системы управления ВЭУ.....   | 377 |
| <b>Игнатьев С.В., Ртищева А.С.</b><br>Численное исследование и анализ эффективности использования<br>солнечных элементов в условиях г. Ульяновска.....   | 380 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Киричев А.В., Кирпичникова И.М.</b><br>Демонстрационная модель линзы Френеля для исследования<br>концентрации солнечных лучей.....   | 381 |
| <b>Климова В.А., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е.</b><br>Переработка природного газа в моторное топливо с использованием теплоты ВТГР...   | 384 |
| <b>Лаврешин А.П., Немихин Ю.Е.</b><br>Сравнительный анализ существующих тонкопленочных технологий<br>для преобразования солнечной энергии.....                                    | 387 |
| <b>Лукьянова К.С., Фазлиахметова М.Ф., Гюнтер Д.А</b><br>Определение удельной мощности ветрового потока<br>на экспериментальном участке в г. Орске.....                           | 390 |
| <b>Манылов С.А., Лебле Г.В., Соболева О.Н.</b><br>Энергоэффективность малых гидроэлектростанций в условиях Кировской области.....   | 393 |
| <b>Немков Д.А., Немихин Ю.Е., Хайретдинова Л.Р., Щеклеин С.Е.</b><br>Определение оптимальной частоты измерений скорости ветра.....  | 396 |
| <b>Никитин А.Д., Стариков Е.В., Щеклеин С.Е.</b><br>Использование энергии паровых снарядов для перекачивания жидкости.....  | 397 |
| <b>Никитин А.Д., Стариков Е.В.</b><br>Разработка физической модели работы пузырькового насоса.....  | 400 |
| <b>Осипова Е.С., Попов А.И.</b><br>Возможность использования теплонасосных установок<br>на очистных сооружениях Березовского водоканала.....                                      | 403 |
| <b>Русанова А.Е., Попов А.И.</b><br>Вариант светоограждения высотных конструкций.....   | 406 |
| <b>Сироткин Е.А., Соломин Е.В.</b><br>Устройство автоматического торможения горизонтально-осевой<br>ветроэнергетической установки.....  | 407 |
| <b>Совкова К.Е., Попов А.И., Щеклеин С.Е.</b><br>Оценка гидроэнергетического потенциала<br>для свободнопоточной ГЭС Невьянского гидроузла.....                                    | 410 |
| <b>Тарабукин И.В., Барабанова Ю.А., Немихин Ю.Е., Щеклеин С. Е.</b><br>Оценка влияния состава окисляющих газовых сред<br>на скорость аэробного распада биомассы.....              | 411 |
| <b>Трифонов В.Д., Ткачев В.К., Трубицын К.В.</b><br>Использование солнечной энергии в биогазовой системе БГС-1<br>с целью получения концентрированных органических удобрений..... | 413 |
| <b>Туленин С.С., Марков В.Ф.</b><br>In <sub>2</sub> S <sub>3</sub> перспективный материал для солнечной энергетики.....   | 416 |
| <b>Федотов Д.С., Велькин В.И., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е.</b><br>Внедрение в лабораторный практикум первого теплового насоса УрФУ.....  | 419 |
| <b>Хамидуллина Л.А., Обыденнов К.Л., Костерина М.Ф.,<br/>Галуцкий А.Н., Митин В.В., Моржерин Ю.Ю.</b><br>Синтез ансамблей гетероциклов – аналогов PUSH-PULL соединений.....       | 421 |
| <b>Четошников С.А.</b><br>Проектирование веб-сервиса для мониторинга работы ветроустановки.....   | 423 |
| <b>Чизак А.С., Шерязов С.К.</b><br>К методике выбора элементов автономной системы солнечного теплоснабжения.....  | 425 |
| <b>Чулуунхуу Отгонбаатар, Немихин Ю.Е.</b><br>Гибридная электростанция.....   | 428 |
| <b>Шубнякова А.Д., Попов А.И., Щеклеин С.Е.</b><br>Автономное энергообеспечение речных бакенов и навигационных знаков.....  | 430 |

## Принятые сокращения

|  |   |
|--|---|
| УрФУ   | – ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» или Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург |
| АН Монголии  | – Академия наук Монголии  |
| Вятский государственный университет, г. Киров  | – ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», г. Киров   |
| Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН                                    | – Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук   |
| Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина (ИГЭУ)       | – ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново   |
| Ижевский государственный технический университет                                     | – ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени Калашникова»  |
| Казанский государственный архитектурно-строительный университет                      | – ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»   |
| Московский энергетический институт (НИУ МЭИ)   | – ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»  |
| Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (МГТУ)        | – ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»  |
| Московский институт стали и сплавов, Новотроицкий филиал                             | – Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов» (НИТУ МИСИС), Новотроицкий филиал                                |
| Национальный исследовательский Томский политехнический университет                   | – ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  |
| ОАО «ПО «УОМЗ» им. Э.С. Яламова»   | – Открытое акционерное общество «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова»   |
| Оренбургский государственный университет   | – ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»  |
| Орский гуманитарно-технологический институт  | – Орский гуманитарно-технологический институт – филиал ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»   |
| Самарский государственный технический университет (СамГТУ)                           | – ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»   |
| Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) | – ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»   |
| Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.                | – ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»   |
| Тюменский государственный архитектурно-строительный университет (ТюмГАСУ)            | – ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»   |
| Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ)                          | – ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»   |
| Уральский государственный горный университет (УГГУ)                                  | – ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет (УГГУ)», г. Екатеринбург  |
| Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)                       | – ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»   |
| Таджикский технический университет (г. Душанбе)                                      | – Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими  |
| Челябинская государственная агроинженерная академия (ЧГАА)                           | – ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия»   |
| Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)                                   | – ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск   |

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ, СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ,  
разработанные кафедрой «Энергосбережение» в 2000-2013 гг.**

|   |
|---|
| 1. Энергосбережение: Справочное пособие / В.Е.Батищев, Б.Г.Мартыненко, С.Л.Сысков, Я.М.Щелоков. Екатеринбург: Энерго-Пресс, 2-е изд. 2000. 340 с.   |
| 2. Энергетический анализ. Методика и базовое информационное обеспечение: Учебное пособие / В.Г.Лисиенко, Я.М.Щелоков, С.Е.Розин и др. Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2001. 100 с.                          |
| 3. Баскаков А.П., Щёлоков Я.М. Качество воды в системах отопления и ГВС. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. 36 с.  |
| 4. Энергосбережение в металлургическом комплексе: Учебно-методическая разработка / Я.М. Щелоков. Екатеринбург: ГОУ УГТУ–УПИ, 2002. 43 с.  |
| 5. Энергосбережение: Метод. указания к выполнению раздела «Энергосбережение» в дипломн. проектах и работах / Н.И.Данилов, Я.М.Щелоков, В.Ю.Балдин. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2003. 48 с.              |
| 6. Кафедра «Энергосбережение»: Сборник статей по энергосбережению. Екатеринбург: РИА «Энерго-Пресс», 2003. 96 с.  |
| 7. Семь шагов к теплу и свету. Задачи и приоритеты региональной энергетической политики: Учебное пособие / Э.Э.Россель. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2003. 91 с.   |
| 8. Данилов Н.И., Тимофеева Ю.Н., Щелоков Я.М. Энергосбережение для начинающих / Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 80 с.; 2-е изд. 2005. 100 с.  |
| 9. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение для всех / Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 120 с.  |
| 10. Вторичные энергетические ресурсы: Учебное пособие / Э.Э. Россель. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2004. 70 с.   |
| 11. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Экологические проблемы использования топлива: Учеб. пособие / Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 109 с.   |
| 12. Данилов Н.И., Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Развитие энергоэффективных технологий и техники (введение в хрестоматию энергосбережения для юношества). Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 144 с. |
| 13. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энциклопедия энергосбережения / Екатеринбург: ИД «Сократ», 2004. 368 с. (в тв. обложке)  |
| 14. Данилов Н.И., Столбов Ю.К., Щелоков Я.М. Энергоэффективность – важнейший фактор устойчивого развития старопромышленного региона. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004. 58 с.                            |
| 15. Энергоэффективность – залог успешного развития экономики: учебное пособие / Э.Э. Россель. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. 72 с.   |
| 16. Данилов Н.И., Королев Е.А., Щелоков Я.М. Энергетизм современной жизни. Развитие теории энергоэффективности. Екатеринбург: УрГЭУ, 2005. 185 с.   |
| 17. Данилов Н.И. Современный мировой опыт в решении проблем энергосбережения: Научный доклад. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2005. 71 с.   |
| 18. Данилов Н.И. Энергоэффективность – основа успешного развития экономики Среднего Урала: Научный доклад. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2005. 97 с.                                    |
| 19. Данилов Н.И. Энергосбережение – религия XXI века: Учебное пособие (иллюстрированная лекция). Екатеринбург: НП «ИЭЭТ», 2006. 63 с.   |
| 20. Основы энергосбережения: Учебник / Н.И.Данилов, Я.М.Щелоков. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. 564 с. (в бумажн. обложке); ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. 526 с. (в тв. пер.)             |

|  |
|--|
| 21. Энергосбережение в жилищно-коммунальном комплексе / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков, В.Ю. Балдин. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. 102 с. (цв. обл.)   |
| 22. Сотовая энергетика / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. 32 с.   |
| 23. Данилов Н.И., Королев Е.А., Щелоков Я.М. Золотое сечение: теория и практика / Учебное пособие. Екатеринбург: УрО РИА, 2006. 77 с. (цв. обл.)   |
| 24. Региональная энергетическая политика: учебное пособие / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков; Ю.К. Столбов, под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2007. 77 с.   |
| 25. Бинарная энергетика / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2007. 36 с.; УГТУ–УПИ, 2008. 42 с.  |
| 26. Данилов Н.И., Бегалов В.А., Столбов Ю.К., Щелоков Я.М., Чазов А.А. Энергетическая составляющая успеха: взгляд в 2030 год. Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. 63 с.   |
| 27. Данилов Н.И., Бегалов В.А., Столбов Ю.К., Чазов А.А., Бикбулатов С.Р. Энергетическая составляющая успеха: О политике энергосбережения в Свердловской области. Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. 99 с.   |
| 28. Данилов Н.И., Балдин В.Ю., Бегалов В.А., Велькин В.И., Проскуряков В.С., Щелоков Я.М. Организация работ по энергосбережению в муниципальных образованиях Свердловской области: электронный учебник. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008 [Электронный ресурс] Режим доступа: <a href="http://www.midural.ru/midural-new/training/textbook/">http://www.midural.ru/midural-new/training/textbook/</a> |
| 29. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения: учебник. Екатеринбург: ИД «Автограф», 2009. 528 с.; 2010. 550 с.; 2011. 592 с.   |
| 30. Данилов Н.И., Тимофеева Ю.Н., Щелоков Я.М. Централизованное теплоснабжение в рыночных условиях: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. 59 с.   |
| 31. Щелоков Я.М. Энергетический анализ хозяйственной деятельности: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: РУО АИН им. А.М. Прохорова, 2009. 390 с.; 388 с. (2-е изд.)  |
| 32. Щелоков Я.М. Энергетический анализ хозяйственной деятельности (Энергетические проблемы энергоемких производств): учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 390 с.   |
| 33. Данилов Н.И., Королев Е.А., Щелоков Я.М. Золотое сечение и современность: Природа, Экономика. Энергетика: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 148 с.  |
| 34. Данилов Н.И., Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Цветная металлургия: проблемы, технологии, энергетические системы: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, ГБУ СО «Институт энергосбережения», 2011. 84 с.  |
| 35. Данилов Н.И., Тимофеева Ю.Н., Усольцев А.П., Щелоков Я.М., Балдин В.Ю. Использование ресурсов и энергии: учебное пособие для элективного курса «Энергосбережение» в старших классах. Екатеринбург: МРСК Урала; изд-во АМБ, 2010. 184 с.; Администрация города Екатеринбурга; изд-во АМБ, 2011. 184 с.  |
| 36. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергосбережение в бюджетной сфере: справочное издание. Екатеринбург: УрФУ, СРО НП «Союз «Энергоэффективность», Энергосервисная компания Урала, 2012. 237 с.  |
| 37. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение. Теория и практика: учебное пособие. Том 1. Теоретические основы энергосбережения; под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 296 с.   |
| 38. Щелоков Я.М., Данилов Н.И., Лисиенко В.Г. Энергетический анализ: учебное пособие («Библиотека энергоаудитора») / под общ. ред. В.Г. Лисиенко. Екатеринбург: УрФУ, РУО АИН им. А.М. Прохорова, 2013. 109 с.   |
| 39. Щелоков Я.М., Серебряков Д.В., Степанова М.В. Энергетический менеджмент: Руководство по энергосбережению. Т. 1. Энергетическое обследование и ISO 50001:2011: учебное пособие («Библиотека энергоаудитора»). Екатеринбург: НП СРО «Союз «Энергоэффективность», 2013. 100 с.  |
| 40. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение. Теория и практика: Том 1. Теоретические основы энергосбережения: учебное пособие с грифом УМО; под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 296 с.  |
| 41. Данилов Н.И., Балдин В.Ю., Щелоков Я.М. Энергосбережение. Теория и практика: Том 2. Практика управления энергоэффективностью: учебное пособие; под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 348 с.   |

### ***Издания энциклопедического и справочного характера:***

|  |
|--|
| 42. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справ. изд.: В 2 кн. М.: Теплоэнергетик, 2002-2005. Кн. 1. 688 с.; Кн. 2. 768 с.   |
| 43. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: Справ. изд.: В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2003-2004. Кн. 1. 608 с.; Кн. 2. 832 с.; Кн. 3. 592 с. |
| 44. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Справ. изд.: В 2-х кн. М.: Теплотехник, 2004. Кн. 1. 688 с.; Кн. 2. 592 с.  |
| 45. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Плавильные агрегаты: теплотехника, управление и экология. Справ. изд.: В 4-х кн. М.: Теплотехник, 2005.  |
| 46. Аксенов В.И., Щелоков Я.М., Галкин Ю.А. и др. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. изд.: В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2007.   |
| 47. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Сооружение промышленных печей. Проектирование плавильных комплексов: Справ. изд. В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2007.  |
| 48. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. и др. Температура: Теория, практика, эксперимент. Справ. изд. В 3-х томах. М.: Теплотехник, 2007, 2008.  |
| 49. Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. и др. Сооружение промышленных дымовых труб. В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2007. Кн. 1. 333 с. Кн. 2. 380 с. Кн. 3. 464 с.  |
| 50. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Оборудование промышленных предприятий: Справ. изд. В 6 томах. Т. 1. Развитие цветной металлургии. Тяжелые цветные металлы. М.: Теплотехник, 2008. 720 с.                   |
| 51. Щелоков Я.М. Экологические проблемы энергоемких производств. М.: Теплотехник, 2008. 304 с.   |
| 52. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергетическое обследование: Справочное издание. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 243 с.   |
| 53. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергетическое обследование: справочное пособие: в 2-х томах. Т. 1. Теплоэнергетика. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 264 с.   |
| 54. Щелоков Я.М. Энергетическое обследование: справочное пособие: в 2-х томах. Т. 2. Электротехника. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 150 с.  |

### ***Издания нормативно-технического характера***

|  |
|--|
| 55. СТП 070-001-2000. Стандарт предприятия (типовой). Организация работ по экономии топливно-энергетических ресурсов. Екатеринбург: Энерго-Пресс, 2000. 16 с.  |
| 56. Ресурсосбережение. Промышленное производство. Энергетический анализ хозяйственной деятельности. Основные положения: Стандарт саморегулируемой организации СРО–2012–01–К / Я.М. Щелоков, Н.И. Данилов, В.Г. Лисиенко. Екатеринбург: СРО НП «Союз «Энергоэффективность», 2012. 32 с. |

### ***Издания, выпущенные совместно с другими кафедрами УГТУ-УПИ (УрФУ)***

|  |
|--|
| 57. Энергосбережение и повышение эффективности использования энергоресурсов в зданиях и сооружениях: Учебное пособие / Под ред. А.П. Баскакова, Н.И.Данилова, С.Е.Щеклеина. Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2002. 326 с. |
| 58. Вопросы энергосбережения при теплоснабжении помещений: Учебно-методическое пособие / В.А.Бегалов, В.С.Проскуряков, Я.М.Щелоков. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2003. 80 с.  |
| 59. Вопросы энергоэффективности в системах освещения: Учебное пособие / В.А.Бегалов, Р.В.Молотилов, В.С.Проскуряков. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004. 104 с.  |
| 60. Тепловая защита зданий: учебное пособие / Е.В.Михайлишин, В.А.Бегалов, В.С.Проскуряков. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. 38 с.  |
| 61. Регулирование тепловой нагрузки: методические указания / Е.В.Михайлишин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 16 с.   |
| 62. Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Эффективность и энергетические основы устойчивой экономики: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2010. 400 с.  |

### ***Сборники научных трудов последних лет (2008-2012 гг.)***

|  |
|--|
| 63. Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. 11-14 ноября 2008 г./ Науч. ред. проф., д-р экон. наук Н.И.Данилов. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. 306 с. |
|--|



|  |
|--|
| 64. Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых 14-18 декабря 2009 г. / Науч. ред. проф., д-р экон. наук Н.И.Данилов. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. 536 с.   |
| 65. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 22-26 ноября 2010 г. / Науч. ред. проф., д-р экон. наук Н.И.Данилов. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 440 с.  |
| 66. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 13-16 декабря 2011 г. / Науч. ред. В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева. Под общ. ред. проф., д-ра экон. наук Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 508 с. |
| 67. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 18-21 декабря 2012 г. / Науч. ред. В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева. Под общ. ред. проф., д-ра экон. наук Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 428 с. |
| 68. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 17-20 декабря 2013 г. / Науч. ред. В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева. Под общ. ред. проф., д-ра экон. наук Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 446 с. |

*Научное издание*

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ.  
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Научные редакторы *В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева*

Компьютерная верстка *Г.Н. Мизгулиной*

Некоторые статьи печатаются  
в авторской редакции

---

Подписано в печать 12.12.2013  
Бумага офсетная  
Тираж 200 экз.

Формат 60х84 1/16  
Усл. печ. л. 24,8  
Заказ № 3140

---

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Отпечатано в типографии ИПЦ УрФУ  
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел. +7 (343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: +7 (343) 358-93-06  
E-mail: [press.info@urfu.ru](mailto:press.info@urfu.ru)